

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění a montáže**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2012**

**Bc. Vlastimil Ligocki**

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Měření a kontrola velkých součástí v podmínkách těžkého  
strojírenství**

**Measurement and Checking of Large Parts in Conditions  
of Heavy Engineering**

Student:

Bc. Vlastimil Ligocki

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Šárka Tichá, Ph.D.

Ostrava, 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vlastimil Ligocki**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Měření a kontrola velkých součástí v podmínkách těžkého strojírenství**  
**Measurement and Checking of Large Parts in Conditions of Heavy Engineering**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor problematiky měření a kontroly velkých rozměrů.
2. Proveďte rozbor stávajícího stavu měření a kontroly velkých rozměrů ve vybrané firmě.
3. Proveďte návrh efektivní metodiky měření a kontroly velkých rozměrů v podmínkách firmy.
4. Proveďte praktické ověření vybrané metodiky na vhodně zvoleném představiteli včetně vyhodnocení.
5. Proveďte celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] JOZA, Jan. *Měření tvaru a rozměrů velkých součástí*. Praha : SNTL, 1982. 395 s.  
[2] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 1*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.  
[3] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.  
[4] ČSN ISO 690-2 *Bibliografické citace - Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části*. Praha : Český normalizační institut, 2000. 24 s.  
[5] Firemní literatura firmy DEOM s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Šárka Tichá, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě ..... 21. 5. 2012

.....  
podpis studenta

**Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2012 .....

  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Vlastimil Ligocki

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Vodojemu 80  
735 14 Orlová

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LIGOCKI, V. *Měření a kontrola velkých součástí v podmínkách těžkého strojírenství: diplomová práce*. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 62 s. Vedoucí práce: Tichá, Š.

Diplomová práce se zabývá problematikou měření velkých rozměrů v těžkém průmyslu. Tato problematika, je stále více orientována na měřicí přístroje, které musí splňovat všechny požadavky moderního měření, je to: přesnost, jednoduchost, a rychlost měření. Těmto požadavkům se v dnešní době věnuje mnoho firem, které se zabývají výrobou metrologických zařízení. Pro měření v těžkém průmyslu chci představit několik měřicích přístrojů a uvést jejich výhody a nevýhody. Chci se věnovat problematice měření, stávající metodou (orýsování) např. dlouhých tyčí, výkovků a uplatnit nové druhy měřicích metod. Uplatnění nových metod chci prezentovat jak na jednoduchých, tak na složitějších velkých výrobcích, které jsou mnohem náročnější na měření.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

LIGOCKI, V. *Measurement and Checking of Large Parts in Terms of Heavy Engineering : Master Thesis*. Ostrava: VŠB Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, 62 p. Thesis Head: Tichá, Š.

This thesis deals with the measurement of large sizes in heavy industry. It focuses on measuring instruments, which must comply with all requirements of modern measurements such as It's: accuracy, simplicity, and speed. Many companies that deal with production metrology equipment currently follow these requirements. For measurements in heavy industry I will indicate their advantages and disadvantages. This thesis will explore the current method of measurement (scribing) as long rods, and forgings, it will also apply new types of measuring methods. These new methods are simple and complex, which will also be discussed.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů :</b>	8
<b>0. Úvod</b>	9
<b>1. Cíl práce</b>	10
<b>2. Rozbor problematiky měření velkých rozměrů</b>	11
<b>3. Rozdělení metod měření a měřidel pro měření velkých rozměrů</b>	12
<b>4. Nejpoužívanější měřidla pro měření velkých rozměrů v podmínkách VHM ...</b>	14
4.1 Mikrometrické odpichy	14
4.2 Třmenové měřidla	16
4.3 Posuvné měřidla	18
4.4 Měřicí pásma	18
<b>5. Přehled stávajícího stavu</b>	20
5.1 Problematika orýsování a měření velkých součástí	20
5.2 Měřidla a měřicí přístroje	22
5.3 Způsob provedení	23
5.4 Časová náročnost a přesnost	24
<b>6. Rozbor metodiky měření velkých rozměrů</b>	25
<b>7. Systém Metronor</b>	26
7.1 Teoretická část	27
7.2 Praktické využití	30
<b>8. Systém MetraSCAN</b>	46
<b>9. Systém HandyPROBE</b>	48
<b>10. Mobilní měřicí ramena FARO</b>	49
10.1 FARO Laser Tracker	50
<b>11. Zhodnocení a diskuze</b>	52
11.1 Technické zhodnocení systému Metronor	52
11.2 Ekonomické přínosy	53
11.3 Celkové ekonomické vyhodnocení	60
<b>12. Závěr</b>	61
<b>Seznam použité literatury a odkazů</b>	62

## Seznam použitých značek a symbolů

<u>značka</u>	<u>význam</u>	<u>jednotka</u>
D	průměr součásti	[ mm ]
L	délka (měřený rozměr)	[ mm ]
T	teplota	[ °C ]
m	hmotnost	[ kg ]
t	čas	[ s ]
$T_1$	teplota obrobku	[ °C ]
$T_2$	teplota měřidla	[ °C ]
$\alpha_1$	součinitel teplotní roztažnosti obrobku	[ K <sup>-1</sup> ]
$\alpha_2$	součinitel tepelné roztažnosti měřidla	[ K <sup>-1</sup> ]
$\delta$	teplotní systematická chyba měření	[ μm ]
ADM	Absolute Distance Measurement – Absolutní odměřování	
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporované projektování	
SMR	Spherically Mounted Retroreflector – Zrcadlový odrážeč	
VHM	VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY	



## 0. Úvod

V současné době, kdy je v Evropském i celosvětovém průmyslu konkurenční boj ve všech oblastech průmyslu, se získáváním zakázek i kvalitativním pojetím, je velmi důležitou stránkou také měření. Charakteristickým rysem převážné části strojírenských odvětví, zejména těžkého průmyslu, je neustále zdokonalování parametrů strojních zařízení, což samozřejmě nese i zvětšování rozměrů jednotlivých uzlů a součástí. V některých případech je nutné volit speciální technologie pro měření a kontrolu. Složitosti specifických výrobků si vyžadují, aby společnosti zabývající se touto výrobou byly vybavovány moderními, vysoce výkonnými stroji, nástroji a zejména měřidly a měřicími prostředky. Oblast měření a kontroly velkých součástí se nevztahuje jen na těžký průmysl, kde budu realizovat svou diplomovou práci, ale i na oblast strojírenského průmyslu překračující hranice platné lícovací soustavy. Tak je tomu zejména v oborech jaderné i klasické energetiky, válcovacích a hutních zařízeních, lodního a leteckého průmyslu apod. Velkým předpokladem proto, abychom se vyvarovali výroby neshodných výrobků, které mohou dosahovat milionových částek je již zmíněná včasná měřicí a s tím spojená kontrolní činnost. Tato činnost je zcela nevyhnutelná pro udržení předního postavení firem zabývajících se měřením nejen velkých rozměrů. Měření velkých rozměrů v těžkém průmyslu v dnešní době vyžaduje: přesné, jednoduché, rychlé, efektivní, a v nemalé míře i levné měření. Všemi těmito body se chci zabývat v mé diplomové práci a vyvodit závěr, který bude přínosem nejen pro firmu, ale i pro ostatní organizace pracující nejen v těžkém průmyslu, ale také v průmyslu zabývajícím se měřením velkých rozměrů.

## 1. Cíl práce

Cílem je zefektivnění kontroly velkých rozměrů v podmínkách těžkého strojírenství. Vyhodnocení všech kladných a záporných vlastností budu aplikovat na stávajících a nových metodách měření. Požadavky na nové měřicí prostředky klade nejen společnost VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, ale i společnosti, které si chtějí udržet konkurenceschopnost. Chci se podílet na co největší efektivnosti při návrhu, konzultacích a výběrech měřících přístrojů a prostředků, které budou sloužit nyní i v budoucnu co nejlepší spolehlivosti, jednoduchosti a účelnosti pro daný strojírenský úsek. V mé diplomové práci představím navrhované měřicí přístroje, tj. Metronor, MetraSCAN, HandyPROBE a FARO. Jedná se o měřicí přístroje, které jsou upgradovatelné, neboli modernizovatelné a tento stav je velmi příznivý pro zmíněnou vyhlídku i do budoucna. Hodnotit budu samozřejmě měřicí přístroje i z hlediska vyhodnocovacích možností (výstupních protokolů, apod.), kvalitativního, kvantitativního a také z pohledu ekonomického. Celkové zhodnocení a diskuzi všech vlastností měření, uvedu na závěr diplomové práce.

Tento cíl mé diplomové práce budu realizovat v následujících krocích:

- Rozbor problematiky měření velkých rozměrů.
- Přehled a rozdělení současných metod měření a měřidel.
- Rozbor současného stavu měření velkých rozměrů v podmínkách firmy.
- Návrh efektivní metodiky měření velkých rozměrů v podmínkách firmy.
- Praktické ověření vybrané metodiky na zvoleném představiteli včetně vyhodnocení.
- Celkové zhodnocení a diskuze, popř. návrh do budoucna.

## 2. Rozbor problematiky měření velkých rozměrů

Rozbor problematiky měření a kontroly velkých rozměrů spočívá v minulé i současné době v určitých nedostatecích, které je nutno vyřešit. Rozdíl mezi měřením a kontrolou vysvětlujeme takto: měřením zjišťujeme skutečné rozměry (parametry); kontrolou zjišťujeme, zda byly dodrženy mezní rozměry nebo hodnoty a nebyly překročeny přípustné úchytky. [1] S rozvojem moderních a stále přísnějších výrobních procesů se musíme nutně zabývat i rozvojem měřících a kontrolních metod. Časové prodlevy jsou jak na straně vypisování, zpracovávání, vyhodnocování a odesílání vypracovaných dokumentů o naměřených hodnotách, tak i o zastaralých i když stále aktuálních formách měření, které často bývají velmi složité, a musí se na těchto metodách měření podílet dva a v některých případech i více osob. Strojírenské provozy, které jsou vybavovány různými měřícími přístroji a měřidly, musíme volit na základě jednotnosti a přesnosti. To znamená, musíme volit nejoptimálnější měřidla pro daný provoz, která splní naše požadavky. Mezi požadavky řadíme, pracovní rozsah měřícího přístroje a přesnost, jednoduchost a snadné použití, efektivnost a možnost opětovného použití. Nesmíme zapomínat, že se zvyšující přesností měření stoupají i náklady na měření. Nezanedbatelný vliv na přesnost měření, vyjímaje chyby lidského faktoru, má teplota. Předepsaná teplota měření by se měla pohybovat okolo normální teploty 20°C. Jsou-li teploty měřidla a součástí různé, vzniká teplotní chyba, která je úměrná odchylce od teploty 20°C a rozdílu součinitelů teplotní roztažnosti materiálu měřidla a součásti měřeného rozměru. Z toho vyplývá zásada, že při měření součástí z oceli se má používat ocelových měřidel a při měření součástí z jiného materiálu se použije měřidel z téhož materiálu. Jinak musíme použít příslušnou korekci naměřeného rozměru. Aby byla teplotní chyba co nejmenší, je nutno přinášet měřidla na místo měření dříve a to z důvodu vyrovnání teplot. Vyrovnání teplot se urychlí např. položením měřidla přímo na měřenou součást. Proto, aby se měřidlo nezahřívalo v rukách, jsou některá měřidla opatřena bandážemi (gumové, dřevěné), používáme také ochranné rukavice. [6] Problematika měření velkých rozměrů má i jiná různá criteria, se kterými musíme počítat. Je to např. citlivost, přesnost a správnost měření.

### 3. Rozdělení metod měření a měřidel pro měření velkých rozměrů

- I. Přímé měření** - výstupem je přímo údaj hodnoty měřené veličiny v určitých jednotkách, kdy hodnota měřené veličiny je získána přímo, bez nutnosti dodatečně prováděných výpočtů, spočívajících na závislosti měřené veličiny na veličinách jiného druhu. Výstupem měřicího procesu je přímo měřená veličina, např. měření délky posuvným měřítkem. [8]

**Měřidla pro měření vnitřních rozměrů:**

- koncové měrky,
- odpichy (se čtecím zařízením, bez čtecího zařízení),
- třmenová měřidla na vnitřní rozměry,
- posuvná měřidla pro měření vnitřních rozměrů.

**Měřidla pro měření vnějších rozměrů:**

- třmenová měřidla pro měření vnějších rozměrů,
- posuvná měřidla a měřicí pásma pro měření vnějších rozměrů. [6]

- II. Nepřímé měření** – výstupem je údaj, který je s měřenou veličinou ve známém matematickém vztahu, hodnota měřené veličiny je určena na základě výsledků měření (přímými metodami) veličin jiných druhů, které jsou s vlastní měřenou veličinou vázány známými vztahy, např. určení průměru z délky obvodu. [8]

**Možné metody nepřímého měření:**

- měření od pomocných měřících základen,
- určování průměru z délky obvodu (nejpoužívanější),
- určování průměru z délky tětiny oblouku,
- určování průměru z výšky úseče oblouku,
- určení průměru z délky tětiny a úhlu sevřeného normálami,
- určení průměru z délky tečny a úhlu sevřeného normálami,
- určení průměru klínovou metodou. [6]

Dále dělíme metody měření na absolutní, komparační, kontaktní a nekontaktní.

- III. Absolutní metoda** – při této metodě měření zjistíme velikost hledaného rozměru přímo z údajů měřidla, (např. odečtením na stupnici posuvného měřítka nebo měřicího pásma). Měřidla určená k absolutním měřením velkých rozměrů (nenastavitelné mikrometrické odpichy, indikátorové odpichy, mikrometry, měřicí pásma, posuvná měřítka apod.), je nutno pravidelně kontrolovat-kalibrovat, aby se zjistili jejich skutečné rozměry. [6]
- IV. Komparační metoda** – je založena na komparaci (porovnávání, srovnávání) hodnoty určité veličiny se známou hodnotou veličiny téhož druhu. Existuje-li nějaká vzájemná závislost na veličině jiného druhu s níž známe vzájemnou vazbu s dostatečnou přesností, pak lze ke komparačním metodám připojit také metody komparace dvou veličin různého druhu. Svým charakterem patří k relativním metodám. [6]
- V. Kontaktní metoda** – aktivní část měřicího zařízení je v přímém kontaktu s měřeným objektem. Většina běžně používaných metod měření je založena na principu měření vzájemného kontaktu součásti a měřidla. Požadavky kladené na tyto měřidla musí splňovat určité kritéria: konstantní součinitel tepelné roztažnosti, dobrou odolnost proti korozi, tvrdost a odolnost proti opotřebení, apod. [6]
- VI. Nekontaktní metoda** – měřidlo se měřené součástí nedotýká. Tato možnost je velice výhodná, neboť umožňuje měření součástí v průběhu pracovního procesu, bez zastavení stroje, nebo mimo stroj v klidu. Této metodě měření se budu dále věnovat ve své diplomové práci.[6]

## 4. Nejpoužívanější měřidla pro měření velkých rozměrů v podmínkách VHM

Dosud se v závodech k měření velkých součástí používá především měřidel zkonstruovaných podle stejných zásad, jako měřidla pro měření rozměrů do 500 mm. K měření vnitřních rozměrů se nejvíce používá mikrometrických odpichů nejrozličnějších typů a posuvných měříttek. Pro rozměry vnější jsou to opět posuvná měřidla a třmenové mikrometry. Pro hrubá měření se používá různých tyčových měřidel a měřících pásem. Většina těchto měřidel (odpichy, jezdcová měřidla, měřící pásy apod.) měří způsobem porovnávacím-komparačním, jehož základem je určení odchylky měřeného rozměru, od rozměru, na který bylo měřidlo nastaveno. Taková měřidla se nastavují pomocí měřících strojů nebo koncových měrek či jiných etalonů, a nebo jiných zařízení. Absolutní metodou je určován rozměr pomocí měřících pásem, posuvných měříttek a tyčových pravítek. Přesnost měření tu závisí na přesnosti stupnice měřidla, přesnosti čtení, podmínkách měření atd. Tato přesnost je obvykle nižší než při měření porovnávací metodou. [6]

### Rozdělení měřidel podle čtecího zařízení:

- I. Měřidla bez čtecího zařízení** - jsou především kontrolní a slouží hlavně k určení správnosti dosaženého rozměru v mezích předepsané tolerance. (kalibry, pevné odpichy, obkročná měřidla, koncové měrky).
- II. Měřidla se čtecím zařízením** - slouží především k číselnému určení rozměru součástí, lze jich však použít i ke kontrole:
  - se stupnicí (posuvná měřidla, tyčová měřidla, měřící pásma, výsuvné odpichy),
  - s mikrometrickou hlavicí (mikrometrické odpichy, třmenové mikrometry),
  - s číselníkovým úchylkoměrem (indikátorové odpichy, třmenová měřidla, jezdcová měřidla).

### 4.1 Mikrometrické odpichy

Mikrometrické odpichy patří mezi nejpoužívanější měřidla pro měření vnitřních rozměrů. Běžně se používají odpichy pevné, vysouvací, mikrometrické a skládací. Měřit můžeme různé vnitřní rozměry válcových, čtvercových i eliptických tvarů. Největší vliv

na přesnost měření má: teplota měření, tuhost-deformace měřidla, objemová stálost, tvrdost a odolnost měřících dotyků. Mikrometrické odpichy měří s přesností 0,01 mm. Používané mikrometrické odpichy pro měření vnitřních průměrů ve společnosti VHM mají měřící rozsah až 5000 mm - viz. **Obr. 4.1**.



**Obr. 4.1** Mikrometrický odpich

**Odpichy dělíme do dvou základních skupin:**

- odpichy bez čtecího zařízení (pevné, stavitelné),
- odpichy se čtecím zařízením.

**Chyby při měření odpichy:**

- **chyby nastavení odpichu** – (na jmenovitý rozměr) závisí především na přesnosti nastavovacího zařízení, na metodě a podmínkách měření,
- **chyba čtecího zařízení** - mikrometrická hlavice má chybu danou přesností mikrometrického šroubu. Indikátorová hlavice má chybu danou číselníkovým úchylkoměrem,
- **chyby stupnice** – odpovídají přesnosti dle ČSN 25 1202.

Vzorec:

$L$ -měřený rozměr [mm],

- **chyby způsobené pružnými deformacemi (tuhosti)** – jsou způsobeny nejčastěji prohnutím vlastní tíhou, tím dochází ke změně délky (odpich se zkrátí),
- **chyby při sestavování odpichů (šroubového spojení)** – jsou závislé na počtu jednotlivých nástavců a síle příslušných sešroubování,
- **teplotní chyby** – jsou způsobeny rozdílnými teplotami obrobků a měřidel, změnami teplot v hale, teplotou rukou pracovníků apod.

Teplotní chyby se určí ze vzorce:

[6]

- $\delta$  - teplotní systematická chyba měření [mm],
- $L$  - měřený rozměr [mm],
- $\alpha_1$  - součinitel teplotní roztažnosti obrobku [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],
- $\alpha_2$  - součinitel teplotní roztažnosti měřidla [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],
- $T_1$  - teplota obrobku [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $T_2$  - teplota měřidla [ $^{\circ}\text{C}$ ].

**Tab. 4.1** Tolerované chyby při správné poloze odpichu: [6]

Pro rozměr [mm]	Chyba [mm]
do 500	0,01
500 až 1000	0,015
1000 až 3000	0,02
3000 až 5000	0,03
nad 5000	0,05

- **Osobní chyby (čtení, nastavení, polohy měření)** – chyby mohou být způsobeny opotřebením nonia a tím pádem špatným odečítáním, zkušeností kontrolora, osvětlením apod. Chyby polohy - viz. **Tab. 4.1** jsou způsobeny hmotností, konstrukcí, zkušeností kontrolora a také jakostí měřeného povrchu. Chyby měření jsou příčinou nesprávné polohy a zkušenosti kontrolora. [6]

## 4.2 Třmenové měřidla

Třmenové měřidla slouží ke měření vnějších a vnitřních rozměrů. Rozdělujeme je na třmenové měřidla s obloukovým, pravoúhlým třmenem a přímým třmenem. V průběhu měření obrobku můžeme měřit vodorovně i svisle. Měřidlo nastavujeme podle kontrolního odpichu těsně před měřením (stejná poloha nastavení jako při měření). Do protokolu také zaznamenáváme teplotu měřidla a obrobku, (teplotu měříme termistorovým teploměrem).

Měřidla s obloukovým třmenem pro měření vnějších průměrů válcových ploch se používají nejvýše do 3000 mm - viz. **Obr. 4.2**.



Čím je měřený rozměr větší, tím je obtížněji měřitelný, proto větší rozměry měří dva i více pracovníků. Od rozměru 3000 mm nelze již třmenová měřidla použít. Větší měřidla by byla obtížně ovladatelná a příliš těžká. Používaná třmenová měřidla ve společnosti VHM mají měřicí rozsah od  $0 \div 25$  mm /  $2500 \div 3000$  mm. Přesnost měření je 0,01 mm.

Měřidla s přímým třmenem pro měření vnitřních průměrů na čele nebo jeho blízkosti jsou omezeny délkou ramen měřidla. Používají se pro měření rozměrů až do 6000 mm. Nejrozšířenější jsou třmenová měřidla se čtecím zařízením, a to s mikrometrickou, nebo indikátorovou hlavicí. [6]



**Obr. 4.2** Třmenové měřidlo (rozměr  $2500 \div 3000$  mm)

#### **Chyby při měření třmenovými měřidly:**

Zdroje chyb při měření třmenovými měřidly jsou obdobné jako u měření odpichy - viz. **Tab. 4.2**. Skládají se z těchto chyb:

- chyby měření nastavovací měrky (odpichu),
- chyby nastavení třmenového měřidla na jmenovitý rozměr,
- chyby mikrometrické hlavy,
- chyby číselníkového úchylkoměru a jeho nastavení na nulu,
- chyby způsobené pružnými deformacemi (tuhostí),
- teplotní chyby,
- osobní chyby (čtení, polohy při měření).

**Tab. 4.2** Tolerované chyby při správné poloze třmenového měřidla: [6]

Pro rozměr [mm]	Chyba [mm]
500 až 1000	0,01
100 až 2000	0,015
2000 až 3000	0,02
nad 3000	0,03

### 4.3 Posuvná měřidla

Posuvná měřidla pro měření velkých rozměrů se vyrábějí v rozsahu 1000÷4000mm, mají stejnou konstrukci jako posuvná měřidla pro rozměry do 500 mm. Přesnost závisí nejen na rozlišení měřidla, ale i na měřené délce, čím větší je délka obrobku, tím může nastat větší nepřesnost měření. Používaná největší posuvná měřidla ve společnosti VHM mají měřicí rozsah 3000 mm - viz. **Obr. 4.3**. Přesnost měření je 0,1 mm. Digitální posuvná měřidla a hloubkoměry mají max. 1000 mm a přesnost 0,01 mm.

**Obr. 4.3** Posuvné měřidlo 3000 mm

### 4.4 Měřicí pásma

Měřicí pásma se používají pro měření nad cca. 6000 mm. Výhodou je jejich malá hmotnost a jednoduchost. Měřicí pásma používáme pro měření přímou metodou, nebo opásáním.

**Metoda přímá:**

- možnost měření ve svislé a vodorovné poloze,
- pásma musí ležet na celé délce a nesmí být prověšeno (při prověšení je nutná korekce z průvěsu),
- možný výskyt chyb: (chyba napínací, teplotní chyba, chyba způsobena průvěsem pásma, chyba stupnice).

**Metoda opásáním:**

Metodou opásáním určujeme hledaný průměr z délky obvodu. Nejistota, která může nastat při měření opásáním je cca.  $\pm 0,5$  mm při měření průměru 10 m. [7]

Možný výskyt chyb při měření:

- chyba milimetrové stupnice a chyby metrových úseků,
- chyba vzniklá nesprávným napnutím pásma,
- chyba způsobená třením,
- chyba způsobená tloušťkou pásma,
- chyba způsobena šroubovitým opásáním. [7]

**Rozdělení měřících pásem:** používaných ve společnosti VHM

- kalibrační pásma - rozsah 10 000 ÷ 50 000mm, přesnost měření 0,1 mm,
- digitální pásma - rozsah 5000 mm, přesnost měření 0,1 mm,
- PI-TAPE pásma - rozsah 5000 mm, přesnost 0,1 mm.

## 5. Přehled stávajícího stavu

Stávající stav měření ve společnosti VHM v době rozvoje nových technologií je v některých provozech strojírenského průmyslu poněkud zastaralý a neefektivní. Zahraniční firmy zabývající se výrobou a s tím spojené měření velkých součástí, již využívají nová měřidla a měřící zařízení, která splňují moderní požadavky měření, a tím usnadňují náročnou práci a zefektivňují výrobní procesy a kontroly při měření. Chci poukázat na zmíněnou problematiku v mé diplomové práci a navrhnout zavedení nových metod měření. Samozřejmě, že všechny dosud používané metody měření nelze nahradit, ale můžeme je doplnit o nová měřidla a měřící zařízení a tím usnadnit měření přesnými a spolehlivými prostředky.

Při návrhu efektivního měření v podmínkách firmy nesmíme samozřejmě zapomínat na to, že při zvětšující se přesnosti měření stoupají i provozní náklady. V řadě případů je měření složitější a nákladnější než výroba. Proto není vhodné volit přesnější a nákladnější metody měření než je nezbytně nutné.

Základní úkoly v oblasti měření velkých rozměrů, které nejsou dosud plně vyřešeny a musíme okamžitě řešit:

- zdokonalení dosavadních metod měřidel a měřících přístrojů,
- vývoj nových metod a prostředků zajišťujících přesnost měření, a to jak na strojích v průběhu obrábění tak i mimo stroj,
- propracování metody měření a vyhodnocování naměřených hodnot. [6]

### 5.1 Problematika orýsování součástí

Orýsování součástí je činnost, kterou se pracovník naučí až její praxí. Není nikde zaveden výuční ani studijní obor pro tuto činnost. Důležitá je znalost technického kreslení tj. orientace v technických výkresech, základní matematické a geometrické znalosti (výpočty obvodů, znalosti goniometrických funkcí atd.), cit pro práci a prostorová orientace. Ve výrobním procesu je prvotní orýsování odlitků, výkovků a svařenců důležité pro správné ustavení a rozdělení skutečných přídavků pro pozdější opracování na stroji. Každý z těchto polotovarů má svůj specifický pracovní postup, proto je při orýsování ke každému polotovaru přistupováno individuálně a rozdílně.

Také pracovníci (rýsovači) mají své postupy práce při orýsování rozdílné. Existuje však i sériová výroba, při které se setkáváme se stejnými polotovary, u nichž se dodržují jednotné postupy při samotném orýsování.

V procesu orýsování je nutné některé kusy několikrát otočit, aby bylo možné je orýsovat kompletně ze všech stran. Pokud je možno, kusy se také ustavují na rýsovací desku tak, aby bylo možno využít rastr (vyznačené pomocné osy) na rýsovací desce, který po té také pomáhá k proměřování přídavků součástí i samotném orýsování. Ustavování se provádí pomocí jeřábů nebo různých přípravků (šroubové zvedáky, hydraulické zvedáky a páky). Správnou pozici kusu na desce kontrolujeme ve všech osách pomocí úhelníků a nádrhů. Výchozí plochy pro ustavení se liší v tom, zda jde o již opracovanou součást nebo surový kus. Pokud jde o surový kus, ustavuje se podle rovných surových ploch. Pokud jde o opracovanou součást, ustavení se může provádět podle již opracovaných ploch. Správné ustavení kusu na rýsovací desce výrazně ušetří a zjednoduší jeho orýsování.

K dalším metodám proměřování kusů patří tvorba tzv. nárysů (konstrukce základních os a měřených tvarů přímo na rýsovací desce), od kterých se poté kusy proměřují popř. se zkonstruované osy přenáší pomocí úhelníků zpět na součást. Pokud je kus správně ustaven k rýsovací desce, je poté možno ke konstrukci těchto nárysů využít jejího rastru = úspora času i práce (není nutno tvořit např. kolmice apod.)

U jednodušších součástí však není nutné tvořit nárys ani je ustavovat k rýsovací desce. Orýsování se provádí ihned po jejich umístění na rýsovací desce. Jde především o tvarově jednoduché polotovary nebo kusy, u kterých není nutné kompletní orýsování a také u sériové výroby (tyče, hlavní hřídele větrných elektráren, surové střední kusy klikových hřídelí). Samotné orýsování je někdy nutné provést také přímo na stroji, tj. mimo rýsovací desku, kde je pak pracovník odkázán na složitější pracovní podmínky a je nutné si zvolit i poněkud rozdílný postup práce v závislosti na daných podmínkách. Jedná se především o přenášení již narýsovaných entit na plochy, kde bylo předchozí rýsování odstraněno jejich opracováním na tomto stroji. V zájmu urychlení výroby a nebrzdění výrobního procesu je nutno tyto kusy orýsovat mimo rýsovací desku v omezených podmínkách pokud je to ovšem možno. V opačném případě je nutné tento kus proměřit a orýsovat na rýsovací desce. K přesnějšímu orýsování na desce dochází pak za každých podmínek při podezření na malé přídavky materiálu pro opracování způsobené, ať samotnou výrobou polotovaru (kování, odlévání), nebo také nesprávným hrubováním na stroji, popř. detekcí viditelných vad materiálu.

## 5.2 Měřidla a měřicí nástroje

Seznam používaných nástrojů a měřidel nutných k samotnému orýsování:

- základem je rýsovací deska. Přesnost rastru a rovinnost jejího povrchu má zásadní vliv na kvalitu a přesnost orýsování,
- vápno - pro nátěr rýsovaných kusů. Před samotným rýsováním je třeba kus natřít vápnem, ve kterém jsou následně vytvořené rysy pro dobrou viditelnost,
- rýsovací jehly – ruční, ploché a jehly pro upnutí do stojánku (nádrhu),
- stojánky pro rýsovací jehly (nádrhy) - slouží k mechanickému upnutí rýsovacích jehel a následnému pohybu po rýsovací desce, při kterém se tvoří vodorovné rysy na kusech. Stojany (nádrhy) jsou ve velikostech cca od 100 mm – 3000 mm,
- jemný grafít – usnadňuje pohyb stojánků (nádrhů) po rýsovací desce,
- kladivo a důlčík, upínání jehel do stojánku a jejich výšková korekce,
- hledače středu a kalkulačka,
- kružítko (různé velikosti) – roztažná a posuvná pro rýsování nárysů a kružnic na obrobek, od průměru 10 mm – do průměru 10 000 mm,
- úhelníky (příložné, pojezdové) – tvorba kolmic a svislých rysů od 100 mm do cca 3000 mm,
- svinovací metry (nejčastěji 5000 mm) + pásma - nanášení rozměrů a zpětná kontrola,
- ocelová pravítka různé délky (do 4000 mm) – tvorba nárysů apod,
- manipulační přípravky – různé šroubové a hydraulické zvedáky a páky nutné pro jemné ustavení kusů na rýsovací desce,
- podložky kostky a kolejnice (různé velikosti) – pro podkládání kusů na rýsovací desce,
- rolky – pokládají se na ně rotační součásti, se kterými je následně nutno pootáčet kolem osy,
- stojánek na ocelová pravítka – pro ustavení ocelových pravítek a následnému odečítání výškových hodnot,
- ostatní přípravky – prizma, kružítko s kuličkou, silon – nutné pro speciální úkony,
- prášková barva (červená, modrá) – pro finální zvýraznění rysů na hotově orýsovaném kusu,

### 5.3 Způsob provedení

#### Orýsování výkovku (tyče) :

Jedná se o rýsování pro určení osového středu tyče a nalezení optimálních přídavek pro obrábění a vrtání středících důlků, pro následné upnutí na soustruh. Surový kus je zapotřebí natřít vápnem v místech předpokládaných rysů tzn. čelních ploch tyčí. Poté pomoci jeřábu přemístíme kus na rýsovací desku a položíme na již připravené rolky. Rýsovací desku musíme nutně zbavit nečistot, pro snadný pojezd nádrhů. Tento následný pohyb nádrhů usnadňuje čistá deska posypaná jemným grafitem. Do dvou nádrhů upneme rýsovací jehly. Jeden nádrh slouží pro zjištění horního a druhý dolního minimálního přídavku na polotovaru. Zjištění provádíme dotykem rýsovací jehly horního a dolního povrchu. Po zjištění těchto hodnot se přemístí nádrhy s jehlami ke stojánku s ocelovým pravítkem, na kterém se odečte hodnota minimálního průměru. Tím je docíleno optimální rozdělení minimálních přídavek polotovaru. Následuje určení geometrické osy polotovaru na ocelovém pravítku, která je takto naklepnuta do třetího nádrhu s jehlou. Od této osy naměříme od vrchního a spodního nádrhu hodnotu hotově opracovaného poloměru + 100 mm (pro doměřování přídavek). S těmito nádrhy proměříme horní a dolní přídavky po celé délce polotovaru. V ideálním případě jsou tyto přídavky proti sobě rozděleny např. nejmenší horní přídavky plus 20 mm a nejmenší spodní přídavky také plus 20 mm. Nalezneme-li hledané optimální přídavky na kuse, poznačíme osu na obou čelech polotovaru včetně kontrolních rysů 50 mm nad a pod osou. V případě, že tyto přídavky nejsou rovnoměrně rozděleny je nutná korekce osy. Korekci realizujeme na samotném nádrhu a to v případě, že po celé délce polotovaru je shodný rozdíl mezi přídávky, anebo pomoci rolek v případě, kdy je korekce např. na jedné straně délky polotovaru. Po naznačení os na čelech polotovaru se pomocí rolek kus natočí o 90 stupňů a zopakuje se celý postup proměření přídavek. Pokud jsou zase rovnoměrně rozděleny naznačí se opět osa v této poloze polotovaru, pokud tomu tak není, je opět nutná korekce. Po opětovném naznačení os a kontrolních rysů v natočeném stavu polotovaru dochází k jejich protnutí v přesném geometrickém středu polotovaru. Tyto průsečíky os a kontrolních rysů se naklepnou důlkíkem a zvýrazní červenou barvou. Kus je poté připraven na přepravu k zavrtání středících důlků. Každý kus je také přesně popsán identifikačními údaji dle průvodní dokumentace, aby nedošlo k jeho případné záměně.

## 5.4 Časová náročnost a přesnost

Časová náročnost je individuální a nelze ji obecně určit. U každého polotovaru určeného k orýsování se jedná o specifické operace. V těžkém strojírenství resp. ve společnosti VHM není měření orýsováním sériovou záležitostí. Je to z důvodu, kdy měříme součásti různých tvarů v závislosti na aktuálních zakázkách a potřebách, proto není určen přesný pracovní postup orýsování. Často dochází k případům, kdy vymezené normohodiny není reálně dodržet a práce není dokončena ve stanoveném limitu. Potřebný čas je závislý i na dostupnosti jeřábů, volných pracovních prostorech (rýsovací desky) a také pracovnících provádějících rýsování. Náročnost také ovlivňuje zvolená metoda orýsování.

Přesnost orýsování také závisí na použité metodě a také na tom, v jaké fázi výroby se polotovar dostane na rýsovací desku. Jde-li o surový výkovek, nebo odlitek a není u něj kladen důraz na přesnost, je možno říct, že přesnost je dodržena v řádu jednoho milimetru. Pokud jde o opracovanou součást určenou k finálnímu dokončení, je nutno dodržet přesnost do cca. 0,3 mm, tím se zvyšuje i časová náročnost měření. Přesnost je zde ovlivněna mnoha faktory jako např. kvalitou povrchu rýsovaného kusu, rozměrovou náročností (výškou měřené součásti), kvalitou rýsovací desky a v neposlední řadě stavem a kvalitou použitých měřidel a nástrojů (dobře nabroušené jehly a hroty kružítek, čitelností stupnice na ocelových metrech). Všechny tyto negativní ukazatele ovlivňují přesnost rýsování a tím možnost výskytu chyb. V některých případech se nepřesnosti tzv. negativních faktorů sčítají a tím dochází k nárustu nežádoucích jevů.



## 6. Rozbor metodiky měření velkých rozměrů

Současný stav z mého pohledu ve společnosti VHM týkající se měření nejen velkých součástí je stále nedostačující. Zastaralost měřících prostředků a měřidel mě vedla k zamyšlení nad touto problematikou. Měřidla využívaná pro měření velkých součástí jsou samozřejmě plně funkční, ale mnohdy složitě obsluhovatelná. V současné době, kdy je i konstrukce již dlouho převedena od rýsovací desky na systém CAD, jsou větší možnosti využití i ve strojírenské metrologii. Chci uvést příklad, kdy při měření velkých součástí jsou využity právě výstupy v CAD systému. Tyto CAD systémy umožňují při měření rychlejší přístup ke všem datovým informacím, které již nemusíme opakovaně zadávat, ale jsou předdefinovány ve snadno přístupných vložených modelech.

Základní úkoly v oblasti měření velkých rozměrů, které nebyly dosud plně vyřešeny, jsou ve velké míře splněny použitím nových měřících prostředků v kombinaci se stávajícími měřidly, nebo samostatným použitím nových měřících prostředků. Mezi základní úkoly řadím, již zmíněné zdokonalení a ulehčení při měření, vývoj nových metod a prostředků zajišťujících přesnost měření a to jak na strojích v průběhu obrábění, tak i mimo stroj a v nemalé míře propracování metody měření a vyhodnocování naměřených hodnot ve výstupních protokolech.

Chci se zabývat novými měřícími přístroji, které tyto základní úkoly splňují a navrhnout řešení v oblasti měření velkých rozměrů. V diplomové práci uvedu porovnání měření stávající metodou a metodou využívající měřicí systém Metronor. Chci také představit i jiné nové měřicí systémy splňující kritéria pro měření velkých rozměrů, jako je např. MetraSCAN, HandyPROBE a FARO. Tyto měřicí systémy představím jen teoreticky. Ve spolupráci se specialisty pro techniku a technologii se budu snažit využívat i zmíněné možnosti, které povedou k úspěšné a dobré volbě měřicí techniky.

## 7. Systém Metronor

Metronor je přenosný měřicí systém pro měření strojních součástí i rozměrných celků. Základní systém je dodáván v kufru o rozměrech 1000 x 450 x 350 mm, - viz. **Obr.7.1** Kompletní, přenosný měřicí systém se skládá ze snímacího systému, snímací sondy a vyhodnocovacího počítačového systému, - viz. **Obr.7.2**. [4]



**Obr. 7.1** Složený systém Metronor



**Obr. 7.2** Metronor Duo

Jedna nebo dvě kamery snímají polohu dotykového nástroje, který se dotýká součástí v měřeném místě. Vyhodnocovací software vypočítá a graficky vyhodnotí souřadnice bodu dotyku. Systém Metronor pracuje jako manuální dotykový měřicí 3D stroj. Díky své konstrukci nemá předem omezen pracovní rozsah.

Měřicí systém norské firmy Metronor má oproti klasickým měřicím strojům zásadní výhodu, je přenosný a může být snadno umístěn kdekoliv, kde je třeba měřit. Systémem Metronor lze vedle měření ve zvoleném souřadném systému, také porovnávat skutečný stav s daty ze systémů CAD. Navázat lze i jakýkoliv běžný software používaný pro prostorová měření. [2]

### **Možnosti použití ve strojírenství:**

- kontrola svařenců před opracováním,
- orýsování výrobků před dalším opracováním,
- ustavování součástí na obráběcím stroji,
- provádění měření rozměrů opracovaných obrobků,
- měření rozměrových změn součástí během výrobního procesu,
- kontrola odlitků a určení přídavek na obrábění.

## 7.1 Teoretická část

### Typy měřicích přístrojů:

#### **Metronor Solo**

- obsahuje jednu kameru,
- nepotřebuje žádnou nastavovací proceduru tj. kameru postavíme na stativ, připojíme, zapneme a měříme.

#### **Metronor Solo Twin**

- obsahuje dvě kamery umístěné na jednom stativu,
- tím je zvýšeno zorné pole na 70°, snížena vzdálenost od měřeného objektu a zvýšena přesnost.

#### **Metronor Duo**

- obsahuje dvě kamery,
- po ustavení kamery jednoduše vzájemně zkalibrujeme systém pomocí světelného přípravku,
- systém můžeme rozdělit na dva samostatné systémy Solo. [2]

### Popis měřicího přístroje:

#### **Snímací systém (kamera)**

Obsahuje 1 (Solo) nebo 2 (Duo) speciální modifikované CCD kamery.

- zakázková optika pro zorné pole 38° x 32°,
- tvrzená optika zajišťující stabilitu a mechanickou odolnost,
- panoramatická naklápěcí hlavice s rychlým připojením kamery,
- kabel pro připojení kamery k počítačovému systému,
- stativy kamer z uhlíkových vláken, stativy jsou lehké a tepelně stabilní.

Kamery jsou kalibrovány pro průmyslové použití jako vysoce přesné měřicí zařízení. Patentovaná kalibrační technika Metronor vychází ze vztahu mezi zobrazovanou souřadnicí zaostřeného světelného bodu na senzoru kamery a polohy světelného bodu v prostoru předmětu. Speciální zpracování signálu je využito pro dosažení extrémní přesnosti v určení polohy obrazu. Kamera a příslušná optika je navržena jako „černá skříňka“, která nevyžaduje žádné nastavení uživatele či úpravy během používání. V podstatě jde o fotogrammetrickou metodu, kdy je měřený prostor snímán jednou,

nebo dvěma speciálními kamerami CCD umístěnými na stativu. [2] Fotogrammetrie se zabývá měřením rozměrů a určováním polohy předmětů, které jsou zobrazeny na fotografických snímcích. Obecněji lze fotogrammetrii definovat jako vědní obor, zabývající se zpracováním informací na fotografických snímcích. [3]

### **Světelné pero**

Snímání měřených dílů je provedeno bez světelného paprsku. Umožňuje nám rychlé měření rozměrů součástí, nástrojů a strojů přímo na dílně. Nehrozí přerušení světelného paprsku při měření. Měření je prováděno ruční dotykovou sondou, nazvanou světelné pero. V tomto prostoru se pohybuje osoba, která provádí měření tím, že přikládá do měřených bodů „světelné pero“, což je speciální pomůcka – řekněme jednoduše ukazovátko – na jehož konci je dotyková kulička. Na světelném peru je umístěno pět svítivých diod, které při zmáčknutí tlačítka umístěného na peru krátce bliknou. V tomto okamžiku zaznamenají kamery jejich polohu a z té pak speciální software vypočítá přesnou polohu bodu, ve kterém se světelné pero dotýká měřeného dílu. Kamery zaznamenají polohu diod. Z té pak průsečíkovou metodou vypočítá speciální software přesnou polohu bodu, ve kterém se světelné pero dotýká měřeného dílu. [2].

Rozdělení světelných pér dle použití:

- **CLP 5500** - (500 mm dlouhé) měření do 10 m,
- **CLP 81500** - (1500 mm dlouhé) měření do 25 m (měření skrytých bodů),
- **CLP 8900** - (900 mm dlouhé) měření do 25 m,

Světelné pero CLP 8900 budu využívat v diplomové práci, kde budu na praktické ukázce měřit a vyhodnocovat naměřené hodnoty z měření velkých součástí.

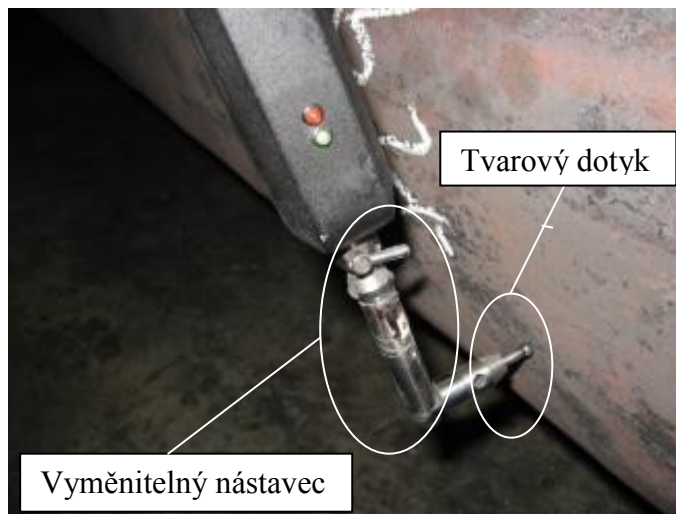
### **Sondy**

Metronor obsahuje 7 vyměnitelných titanových prodlužovacích a úhlových nádstavců. Tvarovými nádstavci můžeme měřit i body, které jsou z pohledu kamery neviditelné. Tuto možnost nám umožňují právě snímací diody, které musí být nasměrovány na zmiňovanou kameru.

### **Tvarové dotyky**

Tvarové dotyky jsou vyrobeny z rubínu, nitridu křemíku, keramiky, oceli či oxidu zirkoničitého. Sondy mají kuličku o průměru 5 mm + hrotový dotyk. Vyměnitelné tvarové

nástavce umožňují měření bodů - viz. **Obr 7.3**, které jsou z pohledu kamery neviditelné, bezdrátový ruční snímač vylučuje přerušení snímání během měření.



**Obr. 7.3** Vyměnitelný nástavec s dotykem

V našem případě měření, kdy je velké riziko poškození rubínového dotyku, např. při měření nepracovaných dílů, hrubých výkovků, odlitků apod., jsou tyto dotyky nahrazeny klasickými ocelovými dotyky, které jsou kalibrovány, aby splňovaly všechny požadavky měření.

### Systémový software

Systémový software instalovaný na notebooku zahrnuje všechny funkce potřebné k nastavení, testování a konfiguraci systému, ke snímání X, Y, Z souřadnic a odesílání do softwarových modulů provádějících analýzu. [4]

### Základní měřicí software

Základní měřicí software vypočítává parametry a statistické vlastnosti entit z X, Y, Z souřadnic bodů. Pro příklad uvádím měření koule, kdy systém spočítá souřadnice středu koule, program přidělí naměřená data k ideální kouli (BestFit) a vypočítá odchylky pro každý z měřených bodů. Entity jsou body, plochy, koule, válce, díry, otvory, kužele. Součástí systému jsou funkce jako průnik, offset, vzdálenost a průmět. Software pro kalibraci sond je také součástí základního software. Software umožňuje rychlé vyhodnocení a okamžité výsledky naměřených hodnot. Systém průběžně poskytuje hodnoty všech změřených rozměrů. Je založený na otevřené architektuře a spolupracuje se všemi hlavními měřicími softwary, které jsou na trhu. [4]

## 7.2 Praktické využití

Metronor Solo má široký rozsah použití v mnoha odvětvích. Měřicím systémem, můžeme měřit součásti různých tvarů a velikostí do 30 metrů. Výhodou je i možnost měření míst, které nevidíme, nebo míst obtížně měřitelných. Tato možnost je umožněna díky vyměnitelným nádstavcům, které jsou tomuto měření přizpůsobeny - viz. **Obr.7.3**. Proto abychom dosáhli požadovaného měření i v místech, které nevidíme, musíme přizpůsobit i světelné pero. Světelné pero musí mít snímací diody nasměřovány na snímací kameru - viz. **Obr 7.5**. Při snímání součásti musí svítit diody na světelném peru zelenou barvou, tato signalizace nám zaručuje, že snímaná součást je zaměřena. Po zaměření stačí jen zmáčknout tlačítko na světelném peru - viz. **Obr. 7.4**. Výslednou naměřenou hodnotu zaznamená software, který příslušné informace po měření okamžitě vyhodnotí.



**Obr. 7.4** Zaměření kamery



**Obr.7.5** Snímání diod kamerou

Měřená součást, je na rozdíl od stávající metody orýsováním měřitelná téměř kdekoli. Můžeme ji měřit jak na rýsovací desce, která je pro orýsování nezbytná, tak na nerovné podlaze, v písku apod. Jedná se o velkou výhodu v měření velkých rozměrů a dílů, z důvodu měřitelnosti, kdy součást nemusíme převážet např. jeřábem, vysokozdvizným vozíkem nebo jinými prostředky. Na ukázce prezentuji několik výrobků (jednoduchých i složitějších), které mohou být měřeny Metronorem - viz. **Obr 7.6**, **Obr 7.7**, **Obr. 7.8**.

**Obr. 7.6** Tyč (výkovek)**Obr. 7.7** Beran**Obr. 7.8** Turbína

Vhodné místo pro ustavení kamery musí zaručit dostatek prostoru, aby v zorném poli mezi kamerou a snímacím perem nepřekážely žádné předměty - viz. **Obr. 7.9**.

#### Eliminace nepříznivých vlivů pro měření:

- přímé sluneční záření do snímacího zařízení,
- sálavé teplo, které může působit mezi snímacím zařízením a světelným perem působením vnějších vlivů.

Kameru umístíme vždy tak, aby její zorné pole pokrylo co možná největší povrch měřeného kusu (nejlépe celou součást). Součást je zobrazená na notebooku - viz. **Obr. 7.10**. Měření je přesnější na kratší vzdálenost, se vzrůstající vzdáleností kamery od světelného pera roste i nepřesnost měření. Tato nepřesnost se dá částečně odstranit dvoukamerovým systémem Duo. Proto se snažíme umísťovat kameru vždy tak, aby byly diody viditelné z co možná největšího počtu pozic měření. [5]

**Obr. 7.9** Ustavení kamery**Obr. 7.10** Zobrazení snímané součásti



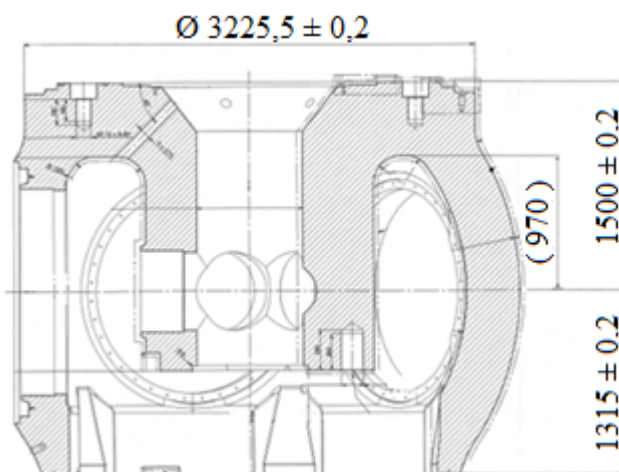
Softwarový systém PowerINSPECT nám umožní provést rychlou kontrolu složitých dílů a nástrojů, porovnáním vyrobených kusů s původními 3D CAD modely.

Systém nabízí následující metody vyrovnání součástí:

- R, P, B (Rovina, Přímka, Bod). Geometrické vyrovnání pomocí Roviny, Přímky a Bodu se známou nominální polohou.
- volné vyrovnání, pro které nemusíme znát žádné nominální hodnoty.
- geometrické R, P, B vyrovnání. Vyrovnání pomocí již změřených elementů, pro které jsou známy nominální parametry v CAD modelu.
- vyrovnání na tři koule. Vyrovnání sejmutím tří koulí jejichž poloha je známa.
- vyrovnání ze souboru. Pokud kontrolujeme sérii stejných kusů, které budou vždy umístěny stejně vzhledem k měřicímu systému, můžeme použít vytvořenou transformační matici ze souboru.
- BestFit (body). Vyrovnání na minimálně tři body součásti jejichž nominální poloha je známa.
- vyrovnání na R, P, B. Flexibilní nástroj, který umožňuje použít jednoduché vyrovnání 3-2-1 pro ustavení systému v šesti osách nebo použít až dvanáct charakteristik pro vyrovnání pomocí BestFitu. [5]

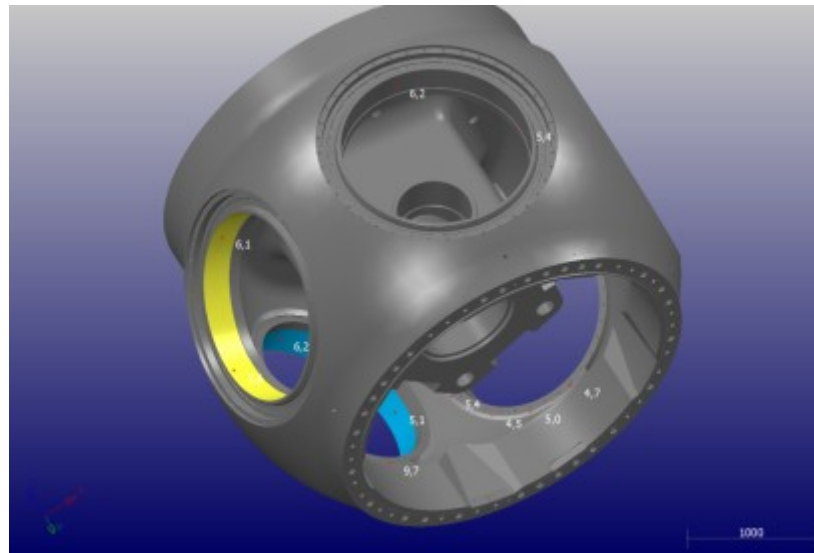
Výběr vhodné varianty CAD pohledu

Pro větší přehlednost při vyhodnocování naměřených hodnot si můžeme vybrat z několika CAD modelů. CAD modely můžeme vytvořit na různé měřené součásti. Pro ukázkou jsem vybral turbínu - viz. **Obr. 7.11** ve třech možných pohledech - viz. **Obr. 7.12, Obr. 7.13, Obr. 7.14**

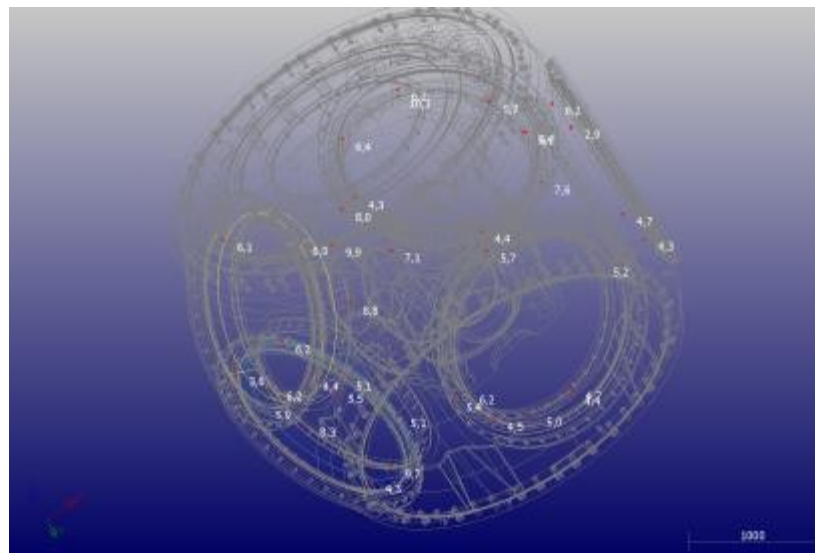


**Obr. 7.11** Rozměrový náčrt turbíny

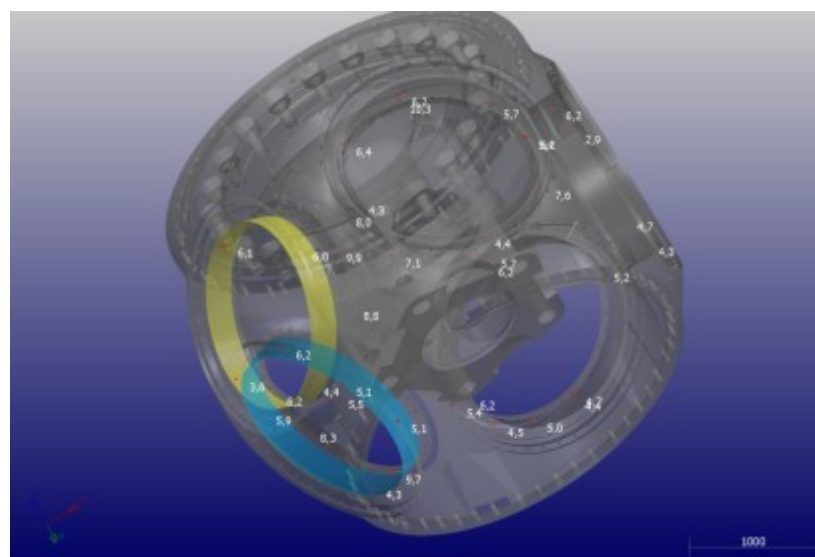




**Obr. 7.12** Stínový model



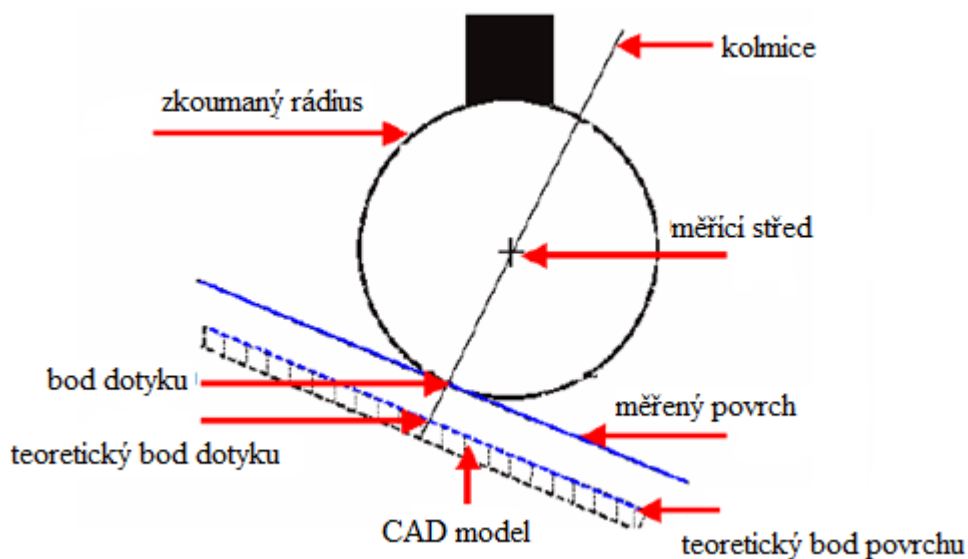
**Obr. 7.13** Drátěný model



**Obr. 7.14** Průhledný stínový model

### Kompenzace bodů plochy pomocí PowerINSPECTu

Při používání sondy o známém průměru kuličky PowerINSPECT automaticky kompenzuje její poloměr. Při sejmutí bodu na měřeném povrchu obdrží PowerINSPECT polohu středu sondy. Poté najde nejbližší plochu modelu ve směru vektoru sondy (maximálně do vzdálenosti dané kritériem blízkosti). Zkonstruuje kolmici k ploše, která prochází středem sondy. Na této kolmici leží bod dotyku (na poloměru sondy) a teoretický bod dotyku (na modelu). Jejich vzdálenost je hledaná odchylka. Kompenzace měřicího dotyku - viz. **Obr. 7.15**. [5]



**Obr. 7.15** Kompenzace měřicího dotyku [5]

**Průvodce GD&T (Geometrické tolerance)** - zde můžeme vyhodnocovat následující parametry a dodržení jejich tolerance:

#### Odchylky polohy:

- rovnoběžnost,
- kolmost,
- toleranci sklonu,
- správnou pozici jako sousost,
- správnou pozici v kartézských souřadnicích,
- soustřednost a lineární vzdálenost dvou charakteristik (rovin).

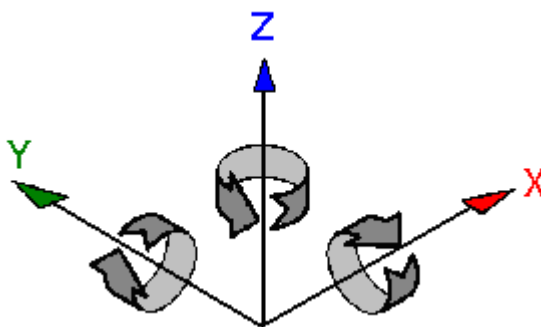
#### Odchylky tvaru:

- přímost,
- kruhovitost.

Odchyšky polohy a tvaru jsou uvedeny v dialogovém okně jednotlivých elementů a vyhodnocují se automaticky.

### Pravidlo 3-2-1

Pravidlo 3-2-1 - viz. **Obr. 7.16** zní: každé tuhé těleso má v třírozměrném prostoru šest stupňů volnosti. To znamená že jeho poloha v prostoru je plně určena šesti souřadnicemi (tři popisují posun a tři natočení). [5]



**Obr. 7.16** Pravidlo 3-2-1 [5]

Pro vyrovnaní součásti potřebujeme ukotvit pohyb ve všech osách X, Y, Z - viz. **Tab. 7.1**

**Tab. 7.1** Tabulka pravidla 3-2-1

3 charakteristiky	Z souřadnice
2 charakteristiky	Y souřadnice
1 charakteristiky	X souřadnice

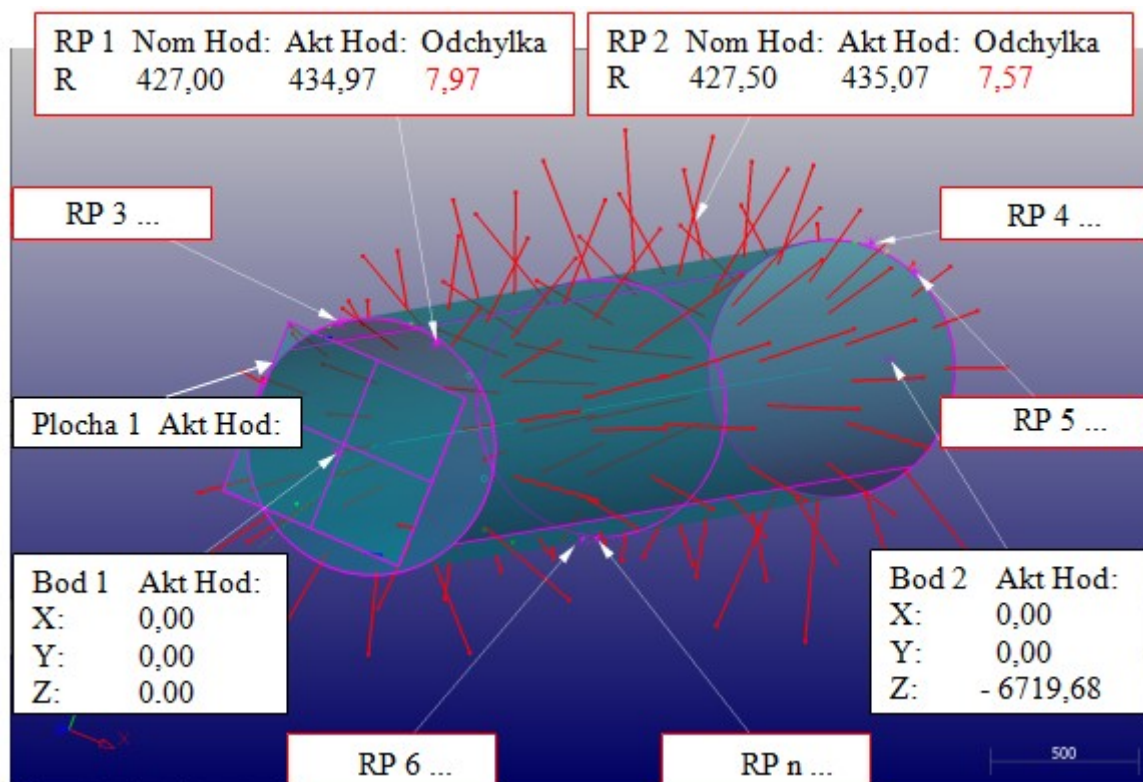
Totéž jako R P B vyrovnaní (Rovina, Přímka, Bod):

**Tab. 7.2** Tabulka vyrovnaní (Rovina, Přímka, Bod) [5]

3 body	Z rovina
2 body	Y přímka
1 bod	X bod

**Optimalizace vyrovnaní** - jakmile změříme jednu nebo více kontrolních skupin plochy, můžete použít BestFit pro zpřesnění počátečního vyrovnaní. PowerINSPECT analyzuje odchylky sejmutých bodů s cílem zjistit, zda je možné upravit původní vyrovnaní (R P B) - viz. **Tab.7.2** tak, aby CAD model byl přesněji vyrovnan s měřenou součástí. [5]

**Kontrola** - PowerINSPECT vyhodnocuje a vypisuje výsledky okamžitě v průběhu měření - viz. **Obr. 7.17**. Například vypočítává odchylky od jmenovitých hodnot, stejně jako umístění, rozměry a jakékoli geometrické tolerance. Při měření odchylek bodů od CAD modelu, ukáže PowerINSPECT podle dráhy sondy barevně nebo číselně tyto odchylky. Také ukazuje okamžitou polohu sondy. [5]



**Obr. 7.17** Ukázka okamžitého výsledku měření

### Tvorba protokolu

PowerINSPECT také automaticky vytváří a vyhodnocuje vysoce kvalitní HTML protokol, který je zobrazen na kartě Protokol. Navíc můžeme pro tvorbu protokolů použít Microsoft Excel. [5]

Původně byl měřicí systém Metronor předurčen jen k měření velkých dílů pro jadernou energetiku. Z důvodu přesného a rychlého měření se používá měřicí systém Metronor pro všechny možné rozměry velkých, malých, obtížně a složitě měřitelných rozměrů.

Měřicí systém Metronor Solo nám umožňuje vytvoření přehledného, snadno dostupného měřicího protokolu, s okamžitým vyhodnocením naměřených hodnot, v tabulkové formě i v grafickém 2D a 3D formátu. Naměřené hodnoty jsou velmi důležitým podkladem pro další kontrolní činnost, uchování dat, ale i případných reklamací. Praktické použití systému Metronor je popsáno v kapitole 7.2.

Názornou ukázkou výstupních měřicích protokolů chci prezentovat na dvou odlišných součástích:

### I. Plášť 5 (Shell 5)

Plášť s vnitřním  $\varnothing$  3350 mm - viz. **Obr.7.18**, **Obr.7.19** slouží jako expanzní nádoba pro jadernou energetiku, kde jsou kladeny velké požadavky na kvalitu výroby a tím spojenou rozměrovou přesnost. Zdánlivě jednoduchá součást je z hlediska klasického ručního měření mikrometrickým odpichem podstatně složitější a časově náročnější než měřicím systémem Metronor.



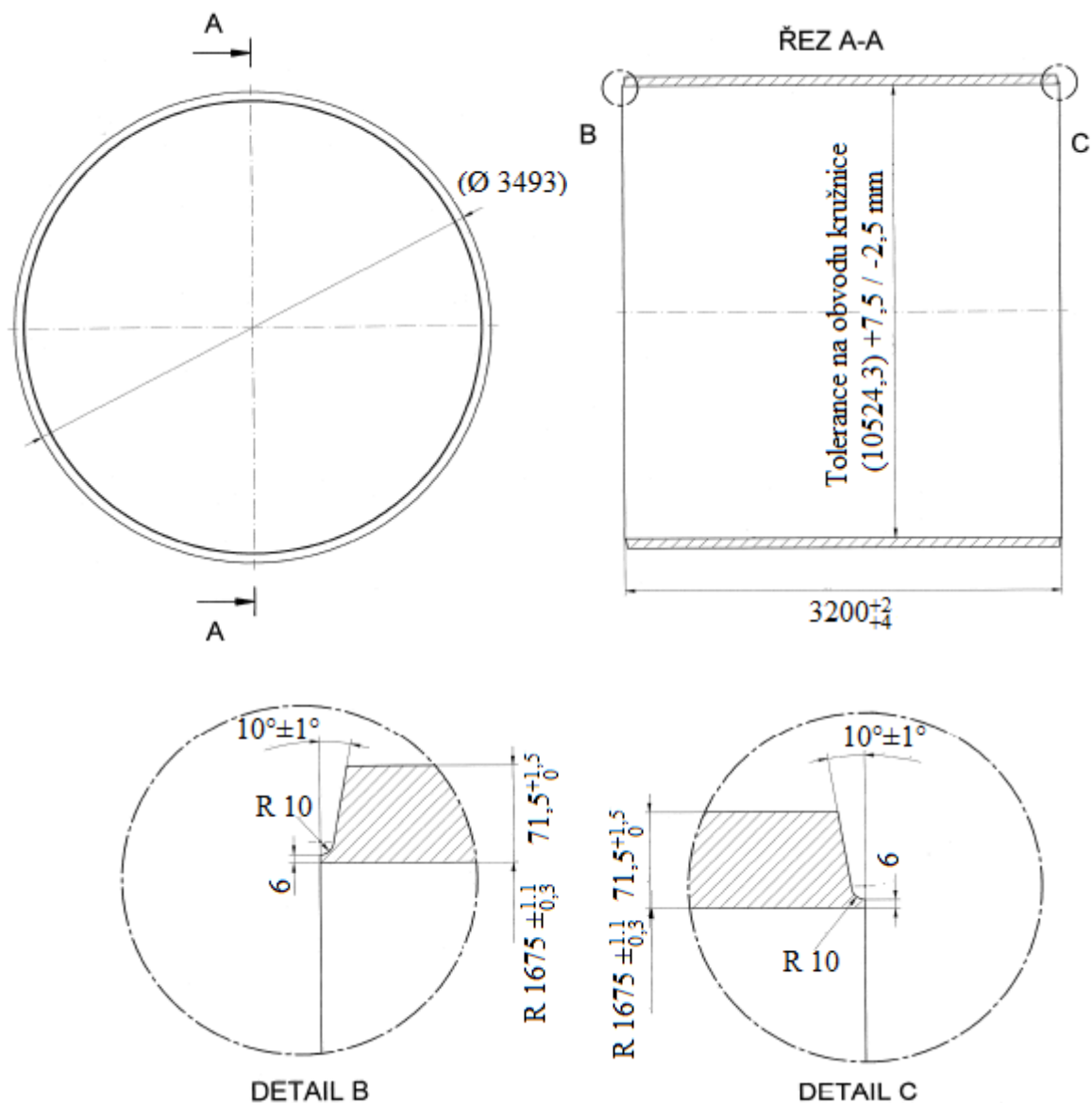
**Obr.7.18** Plášť vnitřní  $\varnothing$  3350 mm

- a) Měření pláště stávající metodou mikrometrickým odpichem vyžaduje dva pracovníky, a to z důvodů velkých rozměrů. Příprava pro měření je také náročná na čas. Musíme zajistit plášť tzv. rozpěrnými stavitelnými tyčemi, proto aby se plášť nedeformoval vlastní hmotností. Měření vnitřního průměru mikrometrickým odpichem je spojeno s nepřesností měření a to jak na straně pracovníka, tak v teplotní chybě, která nastává velmi často. Vnitřní průměr pláště musíme změřit na začátku cca. 200 mm od kraje uprostřed a na konci ve vzdálenost také 200 mm a to ve dvou polohách odstupňovaných po 90°. Tloušťku pláště měříme posuvným měřidlem jen na okrajích, ve vzdálenějších částech měříme tloušťku pomocí ultrazvuku.

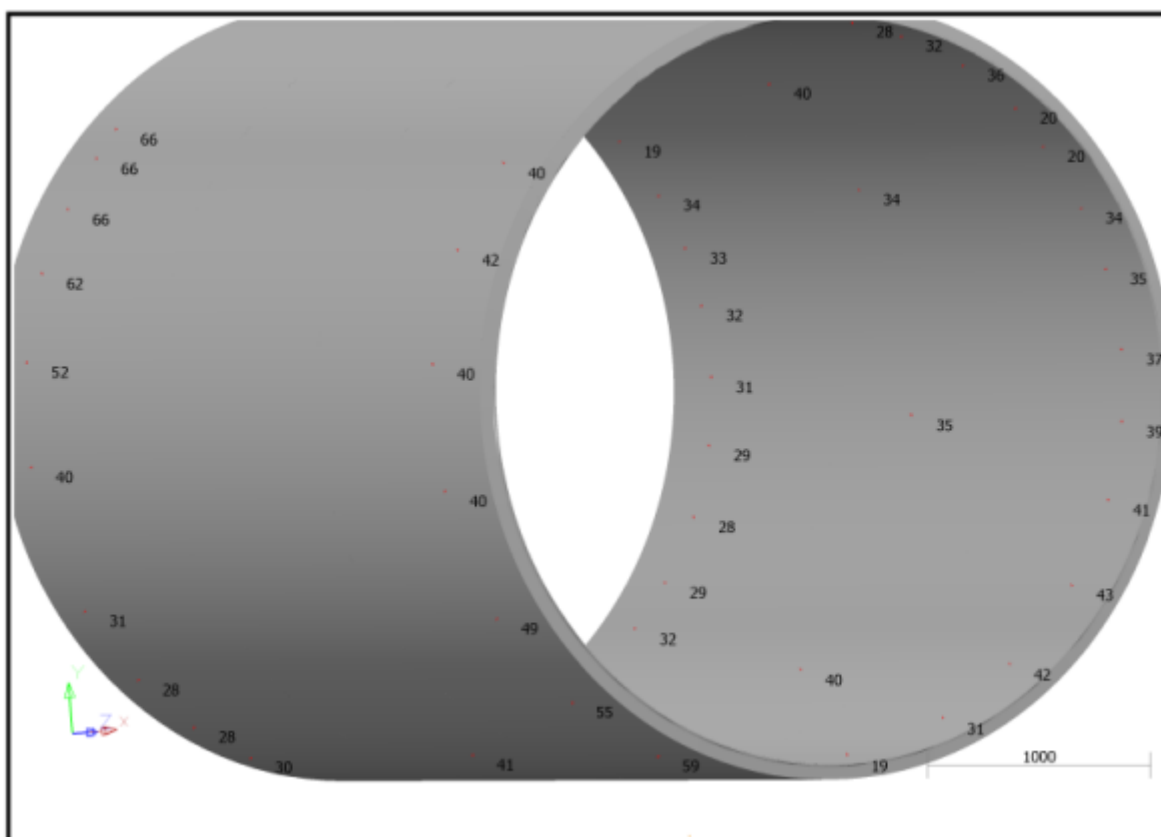
Obvod pláště měříme pásmem, tzv. opasáním. Všechny naměřené hodnoty musíme vypsat do rozměrového protokolu a vyhodnotit. Příprava k měření, měření, vypsání protokolu nám zabere cca. 7 hodin.

b) Měření systém Metronor nám podstatně zjednoduší měření ve všech směrech.

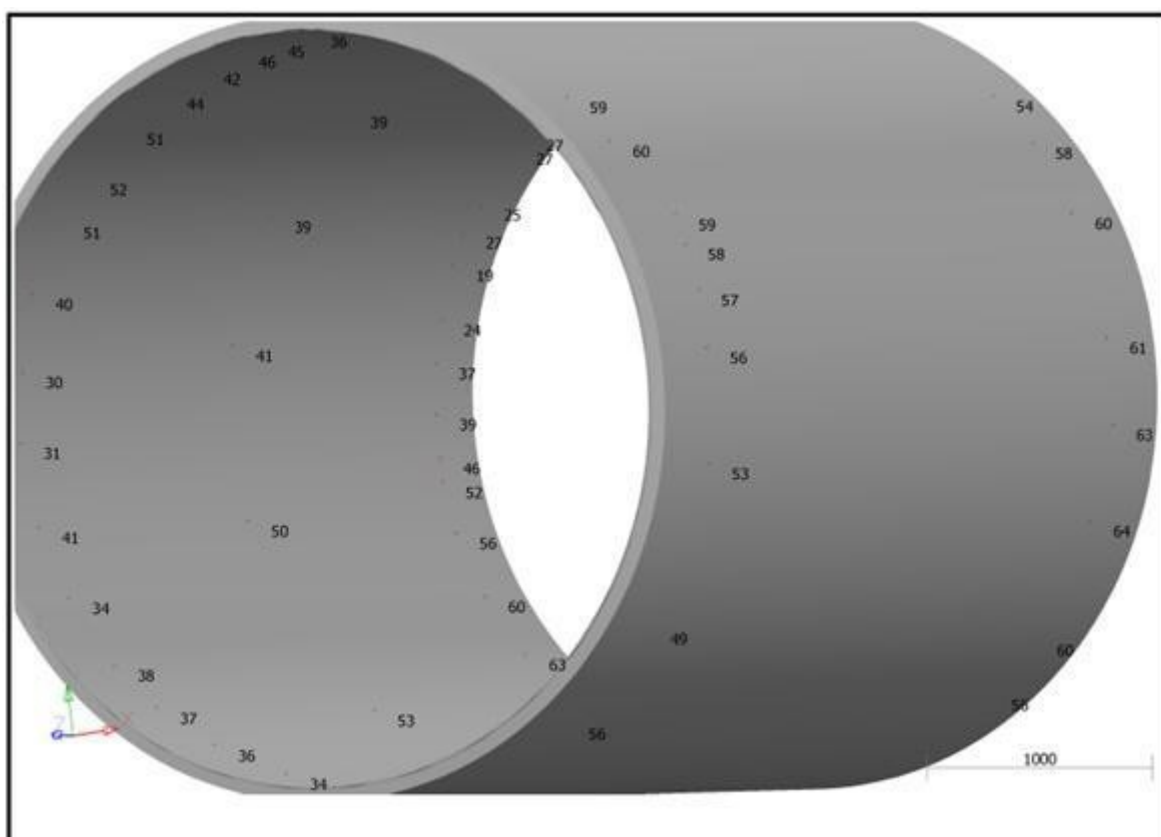
- plášť nemusíme převážet, ale můžeme ho měřit přímo na stroji,
- měření vykonává jeden pracovník,
- počet měřených bodů si určuje pracovník, nebo přímo zákazník,
- měření délky, vnitřního a vnějšího průměru je rychlé a přesné,
- vyhodnocující rozměrový protokol je zhotoven ihned po měření,
- časová náročnost cca. 1 hodina 30 minut.



**Obr. 7.19** Rozměrový náčrt pláště



Obr.7.20 Levá strana měření - vnější

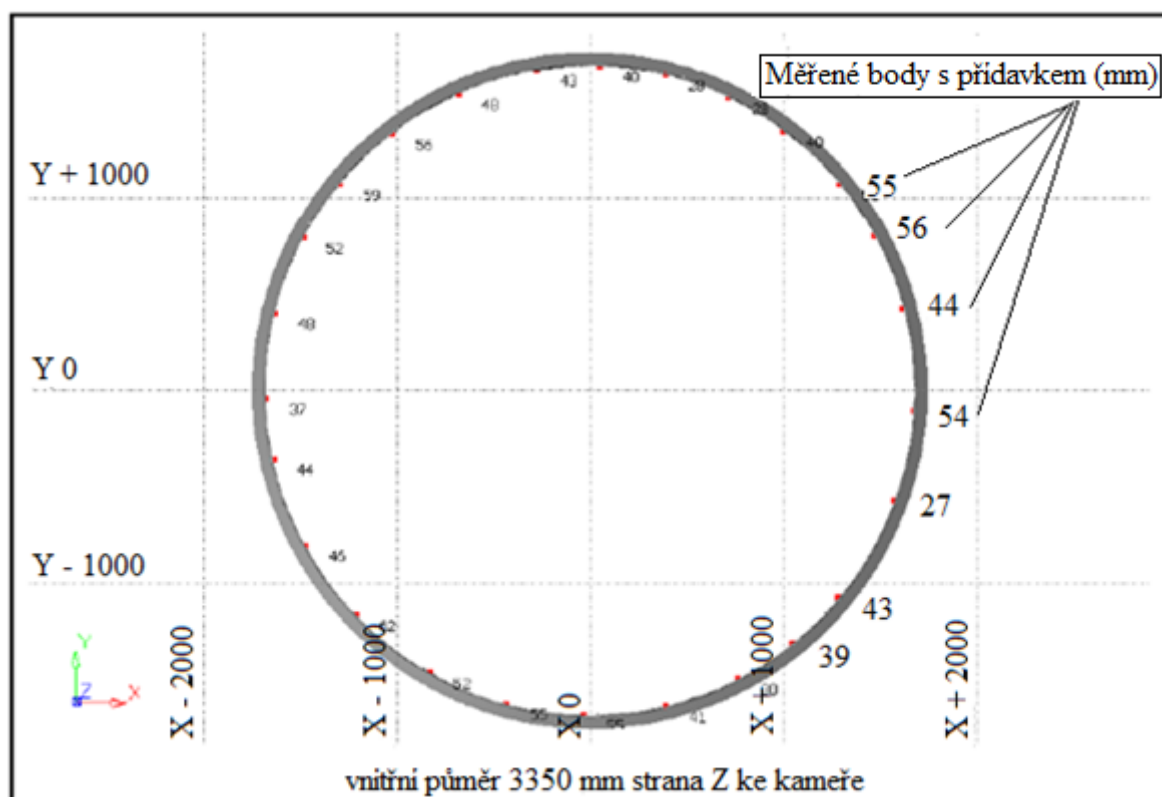
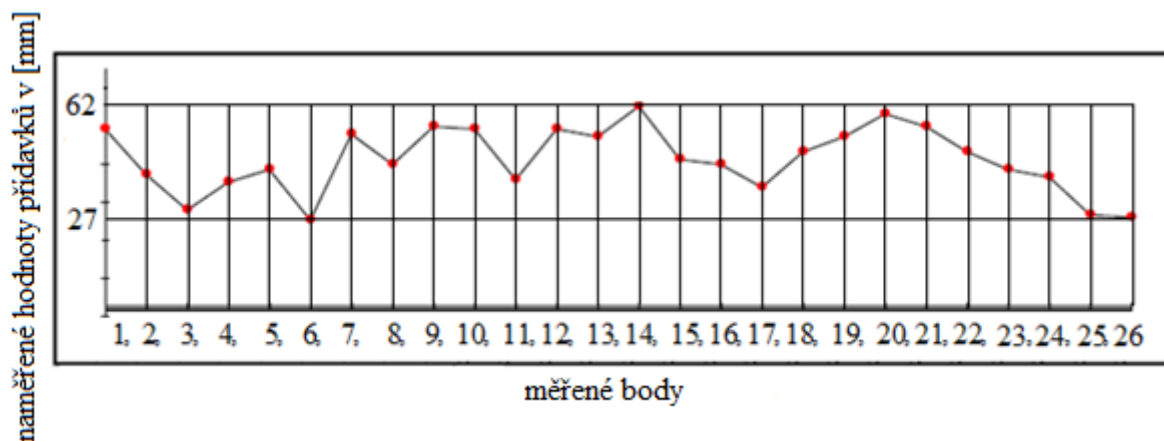


Obr.7.21 Pravá strana měření - vnější



Měření otvoru o poloměru R 1675 (+1,1/-0,3) stranou (Z) ke kameře znázorňuje - viz. **Obr. 7.22**. Všechny hodnoty v uvedeném protokolu jsou v kladných hodnotách (červená barva) - viz. **Tab. 7.3**, **Tab. 7.4**, což znamená, že máme dostatečný přídavek na obrábění. Počet naměřených bodů provádím dle požadavků zákazníka, nebo dosažení větší přesnosti v závislosti na členitosti a složitosti výrobku.

**Tab. 7.3** Grafické zpracování naměřených přídavků



**Obr.7.22** Ukázka protokolu – měřené body s přídavkem pro obrábění v [mm]



Tab. 7.4 Měřené body

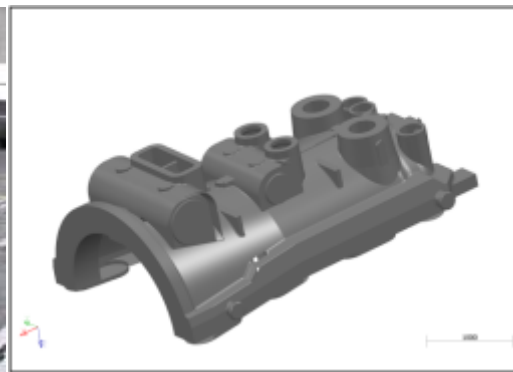
<sup>1</sup> Name	<sup>2</sup> Offset	<sup>3</sup> Lo Tool	<sup>4</sup> Hi Tool	<sup>5</sup> X	<sup>6</sup> Y	<sup>7</sup> Z	<sup>8</sup> DL
Sp 1	0	- 1	1	300	- 1675	- 435	55
Sp 2	0	- 1	1	392	- 1628	- 452	41
Sp 3	0	- 1	1	768	- 1489	- 440	30
Sp 4	0	- 1	1	1043	- 1310	- 455	39
Sp 5	0	- 1	1	1287	- 1072	- 477	43
Sp 6	0	- 1	1	1574	- 572	- 454	27
Sp 7	0	- 1	1	1672	- 102	- 486	54
Sp 8	0	- 1	1	1621	422	- 509	44
Sp 9	0	- 1	1	1473	797	- 522	56
Sp 10	0	- 1	1	1291	1067	- 488	55
Sp 11	0	- 1	1	1002	1342	- 475	40
Sp 12	0	- 1	1	- 427	- 1620	- 435	55
Sp 13	0	- 1	1	- 824	- 1458	- 382	52
Sp 14	0	- 1	1	- 1208	- 1161	- 398	62
Sp 15	0	- 1	1	- 1469	- 804	- 388	46
Sp 16	0	- 1	1	- 1635	- 363	- 378	44
Sp 17	0	- 1	1	- 1675	-402	- 374	37
Sp 18	0	- 1	1	- 1626	401	- 397	48
Sp 19	0	- 1	1	- 1481	783	- 444	52
Sp 20	0	- 1	1	- 1291	1068	- 430	59
Sp 21	0	- 1	1	- 1020	1328	- 367	56
Sp 22	0	- 1	1	- 677	1532	- 358	48
Sp 23	0	- 1	1	- 273	1653	- 342	43
Sp 24	0	- 1	1	500	1674	- 331	40
Sp 25	0	- 1	1	391	1629	- 363	28
Sp 26	0	- 1	1	720	1513	- 369	28

<sup>1</sup> měřené body, <sup>2</sup> vyrovnaní, <sup>3,4</sup> nastavená tolerance, <sup>5,6,7</sup> souřadnice X, Y, Z vzdálenosti od kamery v [mm], <sup>8</sup> naměřené přídatky v [mm]

## II. Turbínová skříň

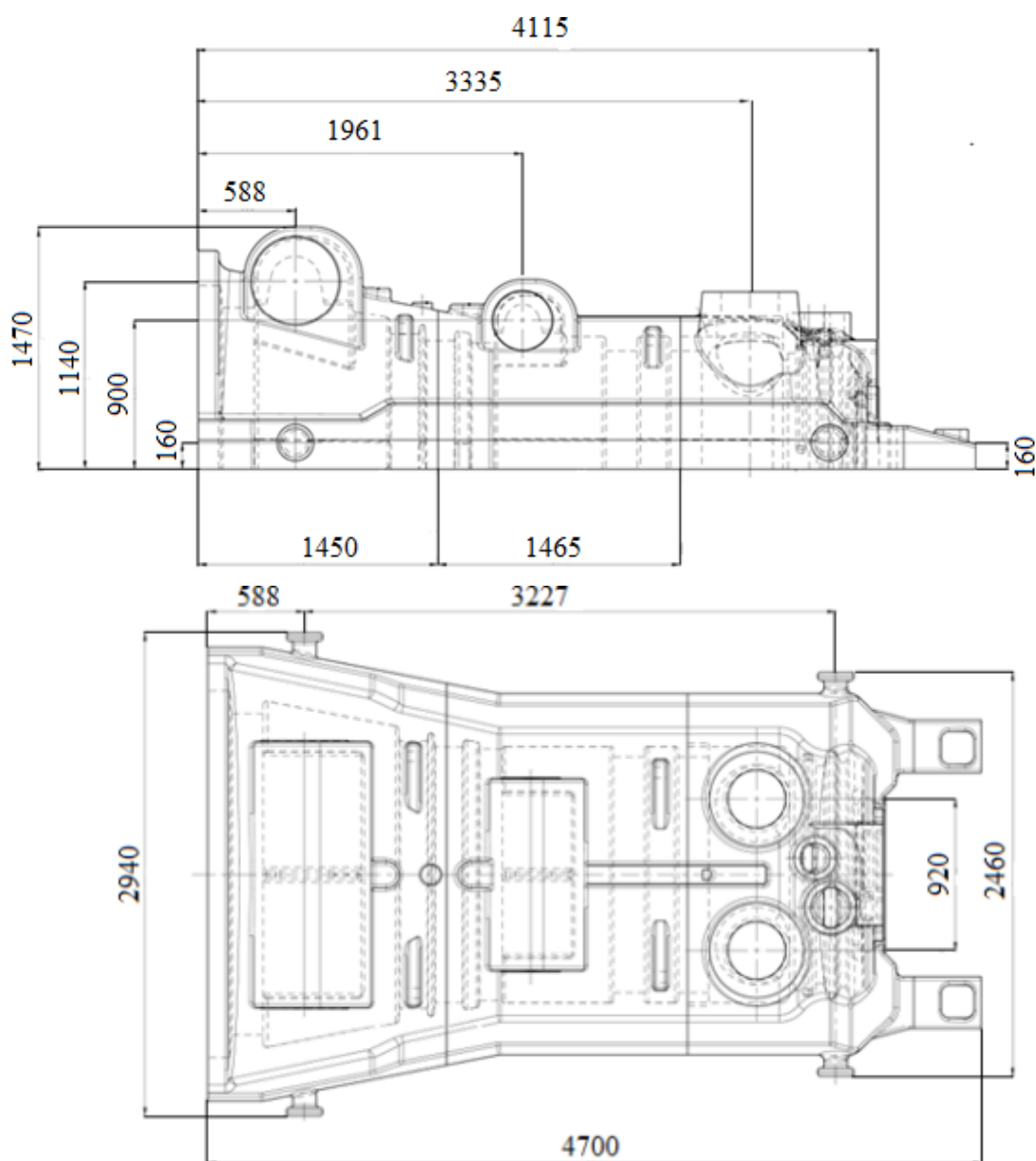
Na druhé ukázce měření jsem zvolil turbínovou skříň - viz. **Obr.7.23**, která slouží jako víko turbíny. Měření stávající metodou orýsováním je poměrně zdlouhavé a náročné viz Kap.5.1. Měřicím systémem Metronor je to mnohem jednodušší a rychlejší. 3D model - viz. **Obr.7.24** slouží pro vložení do softwarového programu a vyrovnaní v PowerINSPECTu. Rozměry turbínové skříně jsou znázorněny - viz. **Obr 7.25**. Na měřené součásti jsou znázorněny body, (červeně – nad toleranci, zeleně – v toleranci a modře-pod toleranční mezi - viz. **Obr.7.27**, **Tab.7.5**. Tyto naměřené hodnoty se posílají v protokolu zákazníkovi a ten rozhoduje o tom, zda se výrobek použije pro další zpracování. Chybějící přídatky pro obráběnou plochu (chybějící materiál) se dají opravit v montáži, kde danou chybějící plochu navaří a dále je plocha obrobena na hodnotu parametru v souladu se specifikací. V případě rozhodnutí zákazníka, že výrobek nesplňuje

stanovené požadavky, je tento výrobek označen jako neshodný výrobek. Případy neshodné výroby ve společnosti VHM jsou cca. 6 % , což vede k velkým finančním ztrátám.



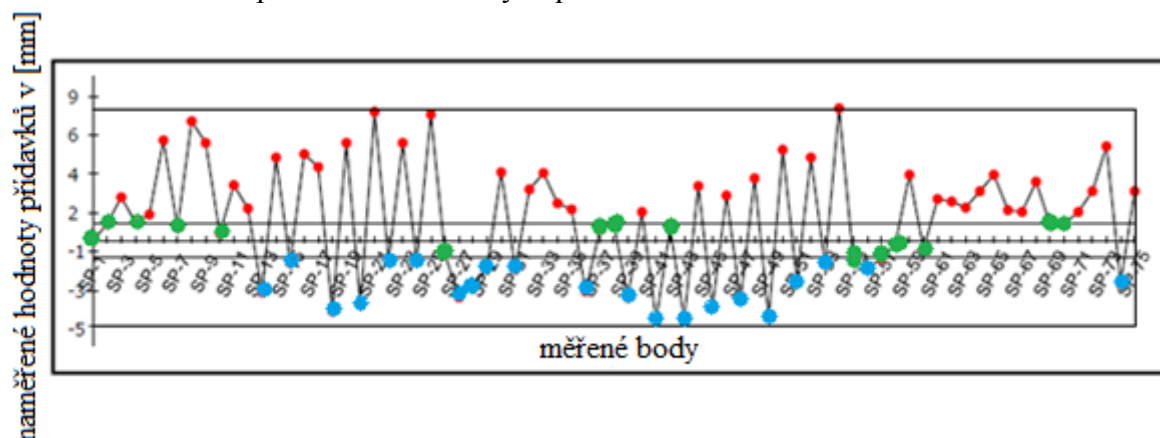
**Obr.7.23** Víko turbínové skříně

**Obr 7.24** 3D model turbínové skříně



**Obr.7.25** Rozměrový náčrt turbínové skříně

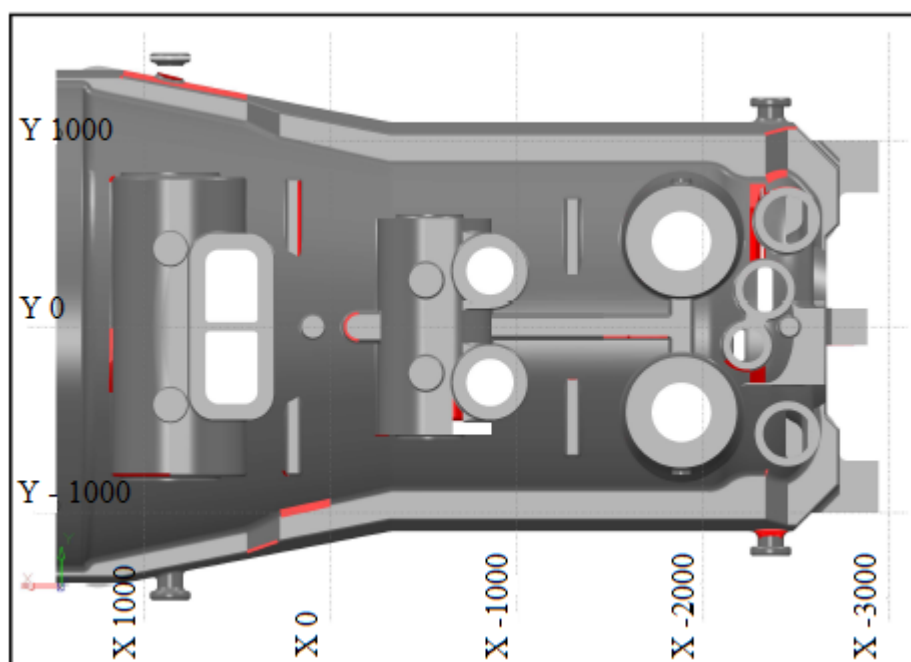
Tab. 7.5 Grafické zpracování naměřených přídavek



Tab. 7.6 Měřené body

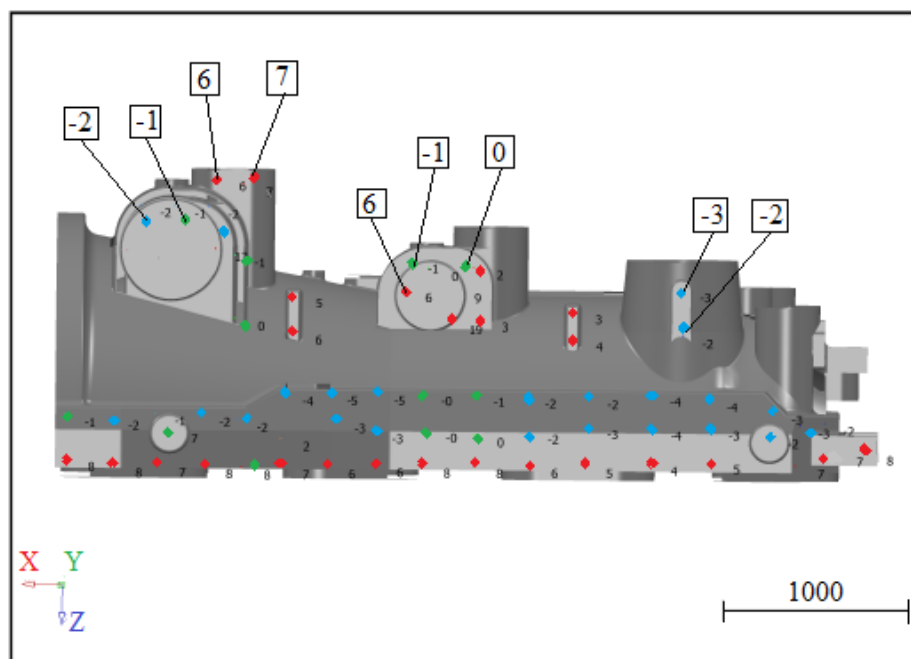
<sup>1</sup> Name	<sup>2</sup> Offset	<sup>3</sup> Lo.Tool	<sup>4</sup> Hi.Tool	<sup>5</sup> X	<sup>6</sup> Y	<sup>7</sup> Z	<sup>8</sup> DL
Sp 1	0	-1	1	- 2945	846	- 98	0
Sp 2	0	-1	1	- 2945	- 802	- 70	1
Sp 3	0	-1	1	- 2854	- 887	- 170	3
Sp 4	0	-1	1	- 2866	- 855	- 170	1
Sp 5	0	-1	1	- 2875	- 720	- 78	2
Sp 6	0	-1	1	- 2821	1000	- 80	6
Sp 7	0	-1	1	- 2873	- 720	- 83	1
Sp 8	0	-1	1	- 2782	- 1000	- 89	7
Sp 9	0	-1	1	- 2208	- 896	- 400	6
Sp 10	0	-1	1	- 2989	- 1100	- 101	0
Sp 11	0	-1	1	- 2864	- 963	- 400	3
Sp 12	0	-1	1	- 2357	- 1100	- 63	2
Sp 13	0	-1	1	- 2324	- 1069	- 292	-3
Sp 14	0	-1	1	- 792	- 1100	- 54	5
Sp 15	0	-1	1	- 789	- 1066	- 304	-1
Sp 16	0	-1	1	- 346	- 1100	- 13	5
Sp 17	0	-1	1	- 145	- 1134	- 20	4
Sp 18	0	-1	1	- 137	- 1093	- 337	-4
Sp 19	0	-1	1	- 252	- 1211	- 18	6
Sp 20	0	-1	1	- 266	- 1095	- 322	-4
Zkrácená verze výstupního protokolu							
Sp 67	0	-1	1	- 1883	966	- 400	2
Sp 68	0	-1	1	- 2170	956	- 400	4
Sp 69	0	-1	1	- 2391	946	- 346	1
Sp 70	0	-1	1	- 2593	910	- 280	1
Sp 71	0	-1	1	- 2407	- 964	- 330	2
Sp 72	0	-1	1	- 2587	- 921	- 280	3
Sp 73	0	-1	1	- 2818	100	- 531	6
Sp 74	0	-1	1	- 2821	2	- 635	-3
Sp 75	0	-1	1	- 2804	- 100	- 543	3

<sup>1</sup> měřené body, <sup>2</sup> vyrovnaní, <sup>3,4</sup> nastavená tolerance, <sup>5,6,7</sup> souřadnice X, Y, Z vzdálenosti od kamery v [mm], <sup>8</sup> naměřené přídávky v [mm]



**Obr.7.26** Červené místa – neproměřené části modelu

Na 3D modelu - viz. **Obr.7.26** mohou být znázorněná místa, která nejsou proměřena, a to z důvodů méně podstatných míst k měření (např. volba zákazníka), nebo míst, které jsou obtížně měřitelné a je tedy zapotřebí přestavení kamery, aby světelné pero bylo schopno tyto neproměřené části součásti snímat.



**Obr.7.27** Měřené body s barevným rozlišením přídavků

## Vyhodnocení systému Metronor

Vyhodnocení měření, s případným výstupem ve formě měřicího protokolu, je rychlé, přesné, jednoduché, mobilní, flexibilní a spolehlivé. Výhodami zařízení jsou již zmíněná snadná transportovatelnost a také krátká doba přípravy k měření. Další předností je, že měřený prostor není předem omezen. Při použití systému Metronor totiž mnohdy odpadá starost s manipulací polotovaru, nebo jeho nezbytného přemístění na rýsovací desku a následné ustavování. Už jen minimálně o tuto dobu systém Metronor zkracuje potřebný čas na orýsování součástí. Zatím z praxe není možno určit přesný poměr časů nutný pro orýsování konkrétního polotovaru klasickou metodou a použitím systému Metronor. Lze však potvrdit, že tento systém určitou časovou úsporu poskytuje. V diplomové práci přibližně porovnám tyto dvě metody klasickým měřením orýsováním a metodou měření pomocí systému Metronor.

Kompletní přenosný měřicí systém obsahuje kufr o hmotnosti 30 kg, včetně notebooku, stativu na kameru apod. Metronor má rozšířenou schopnost snímání včetně skrytých částí (450 mm s volitelným světelným perem). Je příjemný pro obsluhu, snímání probíhá bez paprsků, kabelů, nebo mechanických ramen. Systém neobsahuje žádné pohyblivé součásti a to odstraňuje potřebu nové kalibrace. Systém může být upgradován na Duet (kombinace Duo a 2 x Solo).

Díky nenáročnému nastavení se obsluha může plně věnovat své práci – zdokonalování výrobních postupů a produktů. Systém Solo pracuje ve 3D s přesností až 0,05 mm. Také může být použit jako měřicí systém s vyhodnocujícím výstupem ve 2 D formátu a to pro měření např. profilů, ploch a rovin, až s přesností 0,04mm na vzdálenost 10 m, (rozsah měření 1,5 až 30 m).

Metronor Solo má široký rozsah použití v mnoha odvětvích. Příkladem je zajištění dostatečného přídatku materiálu pro obrábění ve slévárenství, výroba nástrojů, ustavení součástí na obráběcím stroji apod. Cenová dostupnost Systému Metronor Solo nastavuje vysokou laťku na trhu mobilních měřidel.

Celkové vyhodnocení a porovnání měřicího systému Metronoru se stávající metodou měření uvedu v závěru diplomové práce, a to z hlediska ekonomické, časové, materiálové a kvantitativní náročnosti.

## 8. Systém MetraSCAN

MetraSCAN je ruční měřicí přístroj, který se skládá ze skeneru tzv. skenovací hlavy - viz. **Obr. 8.1** a dvoukamerového senzoru (stojící reference) C-Track 780 - viz. **Obr. 8.2**, umožňující skenovat i měřit s přesností až  $50\mu\text{m}$ . Skenování s ruční sondou není pohybově nijak omezeno - viz. **Obr. 8.4**, reference musí pouze vidět určité procento reflexních značek na skenovací hlavě (reference je otočná o  $360^\circ$  a s referencí lze manipulovat). Odpadá potřeba lepení pozičních značek a díky vylepšení laseru ve skenovací hlavě i potřeba zmatnění povrchu.[9]



**Obr. 8.1** Skenovací hlava



**Obr. 8.2** Dvoukamerový senzor

Využitelnost, je definována velikostí pracovního prostoru. Díky referenčnímu snímacímu senzoru C-Track 780 má zařízení jednak přesně ohraničený pracovní prostor a jednak pracovní prostor, kterého lze dosáhnout posouváním reference - viz. **Obr. 8.3**. Pomocí dynamických značek umístěných v pracovním prostoru, lze pohybovat s C-Trackem 780, aniž by došlo ke ztrátě pozice a přerušení souvislosti skenování. Technické parametry systému MetraSCAN uvádím - viz. **Tab. 8.1**. [10]



**Obr. 8.3** Pracovní podmínky při měření systémem MetraSCAN

**Tab. 8.1** Technické parametry systému MetraSCAN

Hmotnost	2,05 kg
Rozměry	282 x 250 x 282 mm
Snímání	36 snímků/s
Laser	II (dvoukamerový laser)
Rozlišení v ose X, Y, Z	0,05 mm
Přesnost	až 50μm

**Obr.8.4** Skenování ruční sondou



## 9. Systém HandyPROBE

HandyPROBE je ruční přenosný skener - viz. **Obr 9.1**, který využívá kombinaci fotogrammetrie s možností výkonného zpracování digitálního obrazu. Na základě zpracování digitálního obrazu, skener HandyPROBE automaticky rozpozná reflektory na ruční sondě a jejich střed určí s přesností 0.01 pixelu. Tyto údaje slouží k vypočítání X, Y, Z souřadnice a také souřadnice dotyku. [10]



**Obr.9.1** Ruční skener HandyPROBE

Velkou výhodou reference C-Track 780 je možnost komunikovat se zařízením HandyPROBE, které slouží pro velmi přesné dotykové měření. Tuto variantu lze použít při vytváření entit, získávání souřadnic nebo jen pro kontrolu rozměrů. Technické parametry systému HandyPROBE uvádím - viz. **Tab. 9.1**. [10]

**Tab. 9.1** Technické parametry HandyPROBE

Hmotnost	0,45 kg
Rozměry	204 x 159 x 97 mm
Rychlost snímání	30 bodů/s
Přesnost jednoho bodu	25 $\mu$ m
Celková přesnost	50 $\mu$ m



## 10. Mobilní měřicí ramena FARO

Mobilní měřicí ramena FARO jsou určeny pro využití v oblasti průmyslové metrologie – viz. **Obr. 10.1**. Vyrábí se ve třech výrobních řadách a v kombinaci s příslušným softwarem umožňují rychlé a pohodlné měření pomocí CAD dat, ale samozřejmě i v případě, kdy počítačový model není k dispozici. Všechna měřicí ramena jsou mimo standardní USB komunikaci vybavena bezdrátovým rozhraním Bluetooth, nová série Edge disponuje i rozhraním WiFi.

Měřicí ramena mají zabudovanou baterii až pro 8 hodin provozu. Technické parametry - viz. **Tab.10.1**. Upínání je vyřešeno základnou o průměru 90 mm, kterou lze doplnit magnetem, vakuovou přísavkou nebo trojnožkou a měřit tak můžeme skutečně kdekoli. Komfort práce s ramenem zvyšuje vestavěné vnitřní vyvažování, neomezená rotace kloubů a senzory přetížení, které zamezují v maximální míře vzniku chyb. [11]



**Obr.10.1** Měřicí rameno FARO

### Modelové řady mobilních měřicích ramen:

- FARO Arm Platinum,
- FARO Arm Fusion,
- FARO Laser Line Probe V3,
- FARO Arm Edge,
- FARO Laser Line Probe V4,
- FARO Edge ScanArm.

Modelové řady FARO, jsou jednoduché mají intuitivní pohodlné ovládání, které při manipulaci nezpůsobují únavu obsluhy, dovolují obsluze rychlé měření i bez připojení k PC, mají vysokou spolehlivost a vysoký výkon. [11]

**Tab.10.1** Technické parametry [11]

Pracovní teplota	Od +10°C do +40°C
Kolísání teploty	3°C/5min
Vlhkost	0 - 95%, nekondenzující
Napájení	Univerzální 85-245V - 50/60Hz

## 10.1 FARO Laser Tracker

Jedná se o mobilní 3D měřicí systém určený k inspekci rozměrově velkých součástí, jež používá vysoce přesný laserový zářič a je schopen měřit objekty v rozsahu až 110 m, rychleji, přesněji, snadněji a spolehlivěji než jakoukoli jinou optickou metodou. Dokáže měřit díly a sestavy přímo v místě jejich výroby či instalace - viz. **Obr.10.2**, tedy tam, kde je to nejjednodušší a nejlevnější. Systém zaznamenává polohu zrcadlového odražeče typu SMR (Spherically Mounted Retroreflector) ve 3D, který neustále automaticky sleduje. Laser Tracker ION je vůbec prvním zařízením svého druhu, který může být dodán v konfiguraci bez interferometru. Interferometr zde nahrazuje zcela nová technologie absolutního odměřování aADM (Agile Absolute Distance Measurement), která činí svou schopností znovu zachytit laserový paprsek za pohybu bez návratu na referenční bod měření rychlejší a pohodlnější. Systém je možné také dodat i v konfiguraci s interferometrem. Zde si uživatel může zvolit, zdali použije k měření technologii aADM nebo interferometr.

Nelze také opomenout nové, přehledné a ergonomické uživatelské rozhraní při samotné kalibraci měřicího stroje, vylepšenou komunikaci v síti Ethernet, možnost stahování nových firmware modulací a spoustu dalších možností.

Výhodou FARO Laser Trackeru je možnost propojení s měřicím ramenem FARO Arm. Tato konfigurace se nazývá FARO TrackArm. Jedná se o systém, který dokáže kombinovat Laserový Tracker s jiným měřicím systémem. Velkou výhodou je možnost měření pomocí měřicího ramene tam, kde Laser Tracker nevidí (tzv. „měření za rohem“).

Měřicí rameno je na začátku měření pouze zapozicováno pomocí Laser Trackeru a poté už tracker nemusí sledovat odražeč umístěný na měřicím rameni. Měřicí rameno je propojeno s Laser Trackerem, tento přebírá informace o pozici měřicího ramene a přepočítává je do aktuálního souřadného systému. Pozici ramena lze měnit v průběhu měření, vždy je však třeba provést ustavení vůči Laser Trackeru.

Měřicí rameno lze umístit kdekoli v pracovním rozsahu Laser Trackeru ION a měřit i drobné detaily na rozměrově velkých dílech. Pokud nejsou oba měřicí systémy – měřicí rameno a Laser Tracker propojeny, lze je použít nezávisle na sobě.

Souřadnicový měřicí systém FARO Laser Track, umožňuje v kombinaci s příslušným měřicím softwarem a případně i měřicím ramenem FARO, vytvořit velmi silný nástroj k řešení nejrozmanitějších měřicích úloh. [11]



**Obr. 10.2** Měření dílů FARO Laser Tracker-em v místě výroby

## 11. Zhodnocení a diskuze

### Uplatnění měřicího systému Metronor ve společnosti VHM

- ustavování obrobků na horizontálních vyvrtávačkách,
- ustavování jednotlivých dílů loží na portálových frézkách,
- měření velkých průměrů na svislých soustruzích,
- středění velkých rotačních obrobků na soustruzích,
- měření v průběhu obrábění,
- kontrola kontrolních bodů základů strojů,
- kontrola a ustavení jednotlivých pozic svařenců,
- kontrola tvarových odlitků – přídavky dle modelu,
- kontrola chybějícího materiálu na odlitcích,
- orýsování os dlouhých rotačních výkovků,
- výstupní kontrola výkovků,
- kontrola kruhovitosti velkých výkovků,
- měření zdvihů a úhlů na zalomených hřídelích.

Mezi základní vyhodnocující parametry měřicího systému Metronor patří několik faktorů, které se musí osvědčit nejen teoreticky, ale nejlépe prakticky přímo v provozních podmínkách, kde se nejlépe ukážou klady nebo zápory měřicího systému v porovnání s klasickým měřením a orýsováním.

### 11.1 Technické zhodnocení systému Metronor

Aplikaci měřicího systému Metronor, se dostáváme do generačně vyšších měřicích technologií. Tyto nové měřicí technologie přinášejí v dnešní době mnoho technických inovací:

- měřitelnost téměř kdekoli (mobilnost, transportovatelnost),
- zvýšení přesnosti, spolehlivosti, jednoduchosti měření,
- zrychlení času měření a doby přípravy pro měření,
- možnosti okamžitého vyhodnocení naměřených hodnot,
- archivace protokolů, odesílání elektronickou poštou, tisk,
- příjemnost měření pro obsluhu.

## 11.2 Ekonomické přínosy

Zavedením měřicího systému je nutné provést technicko–ekonomickou rozvahu. Uvedením nejen technických předností je nutno se zmínit a uvést i cenu měřicího systému, která je ve srovnání s klasickými měřidly řádově odlišná. Vyšší pořizovací cena měřicího systému Metronor je pro mnohé firmy odrazující. Kompletně vybavený měřicí systém Metronor Solo má pořizovací cenu cca. 1,4 mil. Kč. Jednoduchým porovnáním klasického měření a měření systémem Metronor jsem se specialisty pro techniku a technologii došel k závěru, že úspory (časové = procentuální) jsou značné, a proto i cenová relace pro roční odpočet je reálná s úsporami, které přináší systém Metronor.

### Ekonomické přínosy lze specifikovat v následujících oblastech:

- a) časová úspora měření,
- b) optimalizace přídavků při obrábění odlitků,
- c) úspora rýsování,
- d) snížení neshodné výroby.

#### a) časová úspora měření

Pro jednoduchou názornou ukázkou jsem vybral porovnání dvou různých součástí, Plášť 5 – viz. **Obr. 11.1**, Turbínová skříň – viz. **Obr. 11.2**, kde prezentuji časové úspory a tím poukazuji na ekonomický přínos pro společnost VHM v porovnání s klasickou metodou měření – viz. **Tab. 11.1**



**Obr. 11.1** Plášť 5



**Obr. 11.2** Turbínová skříň

Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobky, jejichž četnost ve výrobě VHM je omezená, budu výzkum aplikovat na 40 výrobcích obdobného tvaru.

**Tab. 11.1** Tabulka naměřených hodnot

Výrobek	Měření klasickou metodou [hod]	Měření systémem Metronor [hod]	Časová úspora měřená na dvou odlišných výrobcích měřicím systémem Metronor [%]
Kruh	7	1,5	
Skříň	16,5	3	
Průměr [hod]	12	2	
Průměrná časová úspora			
10 hod.			80 %

Úspora bude představovat ..... 10 hod. x 40 ks. x 0,8 = 320 hodin vysoce kvalifikovaného pracovníka řízení jakosti s režijní sazbou 940,- Kč/ hod.

Úspora vlivem snížení pracnosti tedy představuje **300 800,- Kč provozních nákladů/rok.**

#### b) Optimalizace přídavků při obrábění odlitků

Pro další názornou ukázkou úspor jsem použil zkušeností u obrábění odlitku Kaplanovy turbíny, – viz.**Obr.11.3.** a **Obr.11.4.**



**Obr. 11.3, Obr.11.4.** Kaplanova turbína, před a po obrábění

Jedná se o tvarově složitý a rozměrově velký obrobek, (rozměry – viz. **Obr. 7.11**), jehož ustavení na horizontálním vyvrtávacím stroji je velmi náročné a s ohledem na počet os jednotlivých předlitých prvků je v podstatě nemožné přesně změřit a orýsovat obrobek pro optimální přídávky. Běžně dochází k tomu, že rozdíly přídávků na jednotlivých obráběných plochách jsou až 50 mm. Zaměřením os měřicím systémem Metronor a vložení modelu pomocí optimalizace vyrovnaní – BestFit, zpřesní počáteční vyrovnaní tvarových ploch a přispěje k ustavení součásti do souřadného systému stroje. Touto funkcí vyrovnaní dosáhnou optimální rovnoměrnost přídávků a tím i snížení počtu třísek při obrábění.

Z konkrétního případu vyplývá znatelná úspora hodin na obrábění z původní skutečnosti 665 hodin na 520 hodin.

#### **Příklad:**

Obrábění po orýsování .....	665 hod.
<u>Obrábění po měření Metronorem .....</u>	<u>520 hod.</u>
Časová úspora na jednom kusu náboje .....	<u>145 hod. (1.hod.CNC = 1 250,- Kč/hod.)</u>
(1 ks.) Celková úspora .....	181 250,- Kč
(5 ks.) Celková úspora .....	<b><u>906 250,- Kč</u></b>

Úspora na jednom kusu náboje je 145 hodin při režijní sazbě CNC obráběcího stroje 1 250,- Kč/hod., to činí včetně přímých mzdových nákladů, odvodů a výrobních režii 181 250,- Kč. Roční výroba nábojů turbíny je 5 kusů. Celková úspora na pěti kusech při použití měřicího systému Metronor je 906 250,- Kč.

#### **c) úspora rýsování a obrábění**

Rýsování je nedílnou součástí každého technologického postupu. Cílem této operace je především vyznačení hlavních os výrobku, určení přídávků a ploch pro ustavení na stroji. Orýsovávají se např. osy otvorů kovaných tyčí, podrobný popis viz. **kap. 5.3**. Popsaný postup zřetelně ukazuje na časovou náročnost této operace včetně nezbytné potřeby rýsovací desky a manipulace s výrobkem. Přesnost měření orýsováním a tím nalezení osy tyče je dle zkušeností  $\pm 3$  mm. To s sebou nese přímou vazbu na hloubku první hrubovací třísky, a tím i velikost následujících třísek, což si vynutí třísku navíc nebo v horším případě nutnost přeregulování středícího důlku. Z výše uvedené viz. **kap. 7.2**



je zřejmé, že tato operace s pomocí systému Metronor může probíhat přímo na obráběcím stroji. Měřicí systém Metronor zoptimalizuje uložení modelu (předdefinovaná entita – válec) do nerovného výkovku a tím zcela přesně max.  $\pm 0,5$  mm určí polohu středících důlků.

Ekonomická úspora v porovnání měření orýsováním a měření systémem Metronor je zcela zřejmá. Časová úspora operace např. na tyči - viz. **Obr. 11.5**  $\varnothing 750$  mm a délce 8 000 mm představuje u měření rýsováním cca. 3 hodiny, u měření měřicím systémem Metronor 1 hodinu. Z teoretického výzkumu a praktického ověření ušetřím 2 odpracované hodiny. Režijní sazba rýsovače včetně mzdových nákladů představuje 320,- Kč/hod. Ekonomický přínos, který nastane úsporou jedné odebrané třísky na hrubovacím stroji je 1 ½ hodiny a můžeme ji vztáhnout na 30% produkce obráběných tyčí.



**Obr. 11.5** Tyč 750 x 8 000 mm

#### **Příklad:**

**Tyč  $\varnothing 750$  mm o délce 8 000 mm**

Měření rýsováním ..... 3 hodiny

Měření Metronorem ..... 1 hodina

Časová úspora rýsování na jednom kusu .... 2 hodiny (1.hod.rýsovače = 320,- Kč/hod.)

(1 ks.) úspora .... 640,- Kč

Produkce změřených - obrobených tyčí / den = cca. 4 ks./den (orientační počet)

Produkce tyčí / rok ( 250 dnů) = cca. 1 000 ks. (orientační počet)

Časová úspora měření Metronorem na 1 000 ks. = 2 000 hodin



Celková finanční úspora při měření Metronorem:

$$2\,000 \text{ hod.} \times 320,- \text{ Kč/hod} = \underline{\underline{640\,000,- \text{ Kč}}}$$

Dalším příkladem je ekonomický přínos, který nastane úsporou jedné obráběné třísky na hrubovacím stroji v důsledku přesného měření a vystředění osy měřicím systémem Metronor. Časová a tím i ekonomická úspora se týká 1 ½ hodiny hrubovacího obrábění na vztažených 30% obráběných tyčí.

Roční počet obrobených tyčí ..... 1 000 ks

Časová úspora: ..... 1 ½ hod. x 300 ks. (30 % obráběných tyčí) = 450 hod.  
1 hod. (hrubovací soustruh = 1 000,- Kč/hod.)

Ekonomická úspora ..... 450 hod. x 1 000,- Kč = **450 000,- Kč**

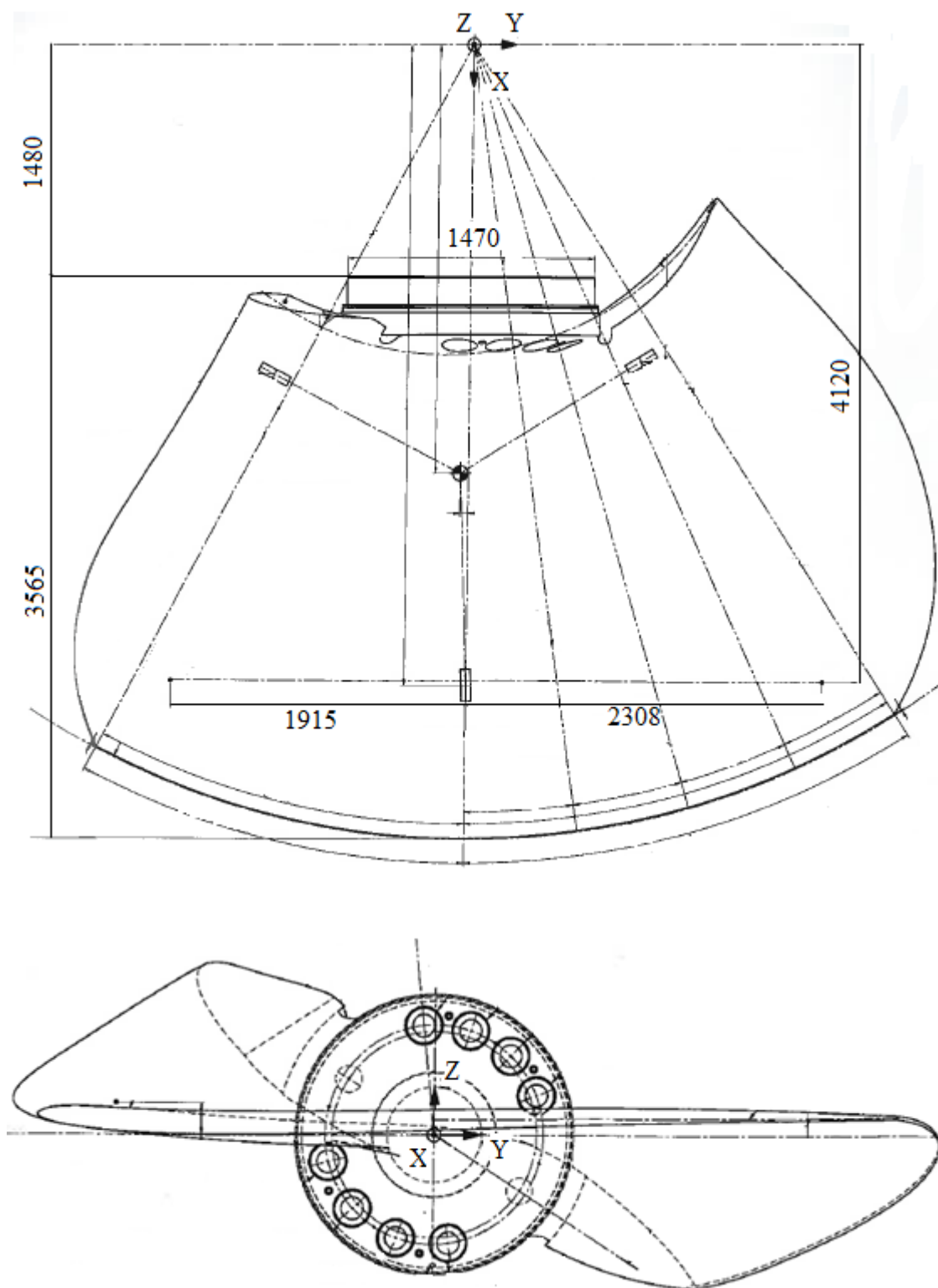
#### d) snížení neshodné výroby

Typickým představitelem výrobku pro oblast snižování neshodné výroby jsou např. lopatky Kaplanových turbin viz. **Obr. 11.9**. Jedná se o tvarově složitý výrobek daný trojrozměrnými obecnými křivkami - viz. **Obr. 11.6**, jehož výkresy v současné době vycházejí z 3 D digitálních modelů, které se přímo nabízejí k využití kontroly systémem Metronor. Odlitek lopatky - viz. **Obr. 11.7**, přeprava lopatky na obrábění viz. **Obr. 11.8**.

Při stávajícím měření odlitku lopatky na rýsovací desce, kde jsme odkázáni pouze na měření s nádrhy nelze zaručit optimální postavení modelu do skutečného odlitku. Měřicí systém Metronor nám umožní postavení modelu obecně v prostoru s natočením celého souřadného systému. Tímto mnohdy můžeme zabránit vyřazení odlitku do neshodné výroby. Neshodnou výrobou označujeme i výrobek, na kterém zákazník nedovolí jakékoli navařování na součásti (lopatce).

Z praxe mohu potvrdit, že k případu označení lopatky turbíny jako neshodný výrobek dochází minimálně 1 x ročně, (při výrobě cca. 16 ks./rok různých velikostí lopatek). Je to i z důvodu nejen měření orýsováním, ale i z důvodu špatného uchycení na obráběcí stroj. Pomocí měřicího systému Metronor vkládám 3 D model do měřené součásti a okamžitě zjistím požadované přírůstky, takto postupuji i při ustavování na obráběcím stroji.

Průměrná cena odlitku lopatky turbíny (dle velikosti) se pohybuje od 350 000,- do 600 000,-Kč. Pro ekonomický rozbor budu počítat s hodnotou **400 000,- Kč**



**Obr. 11.6** Rozměrový náčrt lopatky turbíny



**Obr. 11.7** Odlitek lopatky turbíny



**Obr. 11.8** Přeprava lopatky turbíny na obrábění



**Obr. 11.9** Lopatky turbíny po montáži na náboj

### 11.3 Celkové ekonomické vyhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení jsem použil určitá zjednodušení. Měřicí systém Metronor může pokrývat podstatně více oblastí výroby jak výrobků tak aplikací. Zaměřil jsem se pouze na oblasti, kde je přínos prokazatelný a podložený praxí – viz. **Tab 11.2**.

**Tab. 11.2** Tabulka celkového ekonomického zhodnocení

Jednotlivé oblasti úspor za 1 rok	Úspora výrobních nákladů [ Kč ]
<b>a)</b> úspora snížením času měření	300 800,-
<b>b)</b> optimalizace přídavků při obrábění odlitků	906 250,-
<b>c)</b> úspora rýsování a obrábění	1 090 000,-
<b>d)</b> snížení neshodné výroby	400 000,-
<b>Úspora celkem</b>	<b>2 697 050,-</b>

Pořizovací cena Metronoru (Solo) ..... 1 400 000,- Kč (dle vybavení)

Uvažovaná délka odpisu ..... 4 roky = 350 000,- Kč/rok

Náklady na pořízení měřicího systému Metronor jak jsem již uvedl výše je cca. 1 400 000,- Kč. Zjednodušenou úvahou vychází návratnost investice přibližně za ½ roku. Délka odpisů této investice rozložená na 4 roky představuje přibližně 350 000,- Kč/rok. Z uvedeného příkladu vyplývá, že odpisy a celá investice bude pokryta výnosy již v prvním roce. Z tohoto pohledu můžeme pohlížet na investici jako vysoce efektivní.

## 12. Závěr

Tak jako v minulosti i dnes platí, že dosahování vysoké kvality výrobků a služeb je jednou ze základních konkurenčních strategií uplatňovanou společnostmi různých oborů činností. Míra naplňování kvality dodávaného produktu a souvisejících služeb jsou rozhodujícími faktory spokojenosti zákazníků, a tedy i úspěchu společnosti na trhu. Z vnitřního pohledu společnosti je kvalita nerozlučně spojena s efektivitou, produktivitou, lepšími hospodářskými výsledky a vytvářením zisku.

Chci také poukázat na hledisko prestiže společnosti a vytvoření lepšího obrazu nejen v České republice, ale hlavně na světových trzích. Jedním z podnětů, proč využívat moderní technologie, je právě spolupráce s firmami, které jsou na špičkové úrovni se stále rostoucím potenciálem. Zahraniční firmy spolupracující se společností Vítkovice (VHM) přinášejí zakázky ve strojírenské oblasti zabývající se produkcí např. energetiky, lodního průmyslu, těžké metalurgie, chemie apod. Chci zmínit firmy jako např. SMS MEER, GAMESSA, Rolls-Royce, Siemens a mnoho dalších, které jsou klíčovými partnery v úspěchu s dlouholetou spoluprací. Proto si kladu otázku, zda používání zastaralých měřicích prostředků a měřidel, nám tuto prestiž na složitých světových trzích přinese, nejen z pohledu reklamy, kdy při přejímkách výrobků se zahraničními partnery tyto zastaralé měřidla a měřicí prostředky používáme, ale také z pohledu rozvoje a modernizace společnosti.

Modernizace společnosti Vítkovice VHM je ve směru metrologie nezbytně nutná. Dle mého pohledu to znamená, že pořízením jednoho měřicího systému nemůžeme vyřešit problematiku měření všech výrobků a produktů, ale můžeme se podílet na právě zmíněné modernizaci, která přináší mnoho výhod prezentovaných ve výzkumné části diplomové práce. Také chci uvést i další návrh, který jsem projednával se specialisty technologie a to, rozšíření působnosti měřicího systému Metronor Solo na Metronor Duo. Rozšířením těchto nových měřicích systémů do dalších provozů jako je např. kovárna (rovnání výkovků pod lisem), slévárna (měření komplikovaných modelů, kontrola přídaků), by bylo určitě efektivitivní ve výsledcích měření, ale také ve finanční návratnosti.

## Seznam použité literatury a odkazů:

- [1] VÁCLAVOVIČ, Antonín. *Měření a kontrola ve strojírenství*. Praha: SNTL Praha, 1967. 114 s.
- [2] <http://www.deom.cz/prenosny-system-metronor>
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotogrammetrie>
- [4] SUCHOMEL, Milan. *SOL0\_upgrade\_DUO\_CZ\_10021*. Uživatelský manuál Ostrava, 2010.
- [5] PowerINSPECT 7.0, Uživatelský manuál
- [6] JOZA, Jan. *Měření tvaru a rozměrů velkých součástí*. Praha: SNTL Praha, 1982. 400 s.
- [7] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie - část 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 112 s., ISBN 80-248-0672 X
- [8] ŠINDELÁŘ, Václav; TŮMA, Zdeněk. *Metrologie - její vývoj a současnost*. Praha: Česká metrologická společnost Praha, 2002. 384 s.
- [9] <http://www.solidvision.cz/3d-skenery/>
- [10] <http://www.3d-skenovani.cz/skenery-referenci>
- [11] <http://www.merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyrobce/faro/>